



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Proyecto Seis Sigma para la mejora del
mantenimiento en el sistema HAWK.

Autor

C.A.C. D. Jesús Valero Gutiérrez

Director/es

Director académico: Dra. Dña. Marta Torralba Gracia

Director militar: Tte. D. Enrique Lillo Díaz

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
2019

AGRADECIMIENTOS

A la Doctora Doña Marta Torralba Gracia, directora académica, y al Teniente Don Enrique Lillo Díaz, director militar.

Especial agradecimiento al Grupo de Artillería Antiaérea I/74 y a sus mandos por su ayuda en el transcurso de las prácticas y la realización del Trabajo.

ABSTRACT

The importance of the defense of the air space is one of the most relevant and sensitive aspects of the defense of all armies in the 21st century around the world. The HAWK missile system is one of the most relevant weapons systems of the Spanish Army that plays this kind of missions. Thus, it is vitally to keep it in the best possible operating conditions, so that it is able to perform its functions without setbacks.

Unfortunately, the pass of time, the modernization of the systems, the shortage of spare parts and the long exposure of the devices to the atmospheric conditions of the city of San Roque in the coast of Cádiz in Spain (which means high humidity and salinity) among other reasons have diminished their capacities preventing the batteries of the GAAA I / 74 from being permanently in operational state.

That is why its correct maintenance is essential for the group, and, therefore, an analysis has been carried out following the Six Sigma methodology for improving existing products and processes. The product under study is the HAWK missile system, and the process analyzed is its maintenance and related issues. In this way, according to the DMAIC phases, this work has managed to improve the identified failures and control the possible measures implemented to correct these defects, with the aim of advising the command in maintenance matters.

In order to identify system errors, it has been necessary to study the procedure carried out by the group's staff when it comes to locating and solving breakdowns related to 1st and 2nd maintenance steps, digitizing the process and covering the tasks to be carried out by SIGLE's users and maintenance technicians. The current operation of the system has also been analyzed, covering broader fields.

Once the necessary data of the failures of one of the devices has been obtained (key performance indicators, KPIs), the information has been complemented with surveys carried out by a team of experts. Subsequently, they have been analyzed and classified based on different criteria to proceed with their subsequent individual study and their corresponding improvement proposal.

In brief, this work concludes with a proposal of several improvement measures, like the digitization of device fault identification manuals, which can reduce the time invested at this task. As a future work, the project would continue with the last phase of controlling the proposed measures, also individualized systems and theoretically implemented.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Introducción.....	1
1.1 Ámbito de aplicación y antecedentes	1
1.2 Sistema de misiles Hawk	3
1.3 Motivación y justificación	4
1.4 Objetivos del trabajo	5
1.5 Metodología y alcance	6
1.5.1 Fundamentos Seis Sigma	6
1.5.2 Metodología DMAIC.....	6
1.5.3 Alcance	7
2. Estado del arte: Escalones y tipo de mantenimiento.....	8
3. Proyecto Seis Sigma	11
3.1 Definir	11
3.1.1 Objetivos del proyecto	11
3.1.2 Selección del equipo de expertos	12
3.1.3 Opiniones de los usuarios	12
3.1.4 EDT	13
3.2 Medir	13
3.2.1 Definir defectos	13
3.2.2 Proceso detallado	13
3.3 Analizar.....	15
3.3.1 Funcionamiento del sistema actual	16
3.3.1.2 Unidad de Reparaciones	16
3.3.1.3 Libros de filiación y diagrama de proceso	16
3.3.1.4 “Nave PIP”	17
3.3.1.5 SIGLE.....	18
3.3.2 Análisis de datos	18
3.3.3 Conclusión del análisis	20
3.4 Mejorar	20
3.4.1 Diagrama de proceso	20
3.4.2 Tiempo de reparación	21
3.4.3 Trabajo técnico de 2º escalón de mantenimiento	22
3.4.4 Costes de reparación	23
3.4.5 Resumen de medidas sugeridas	24
3.5 Controlar	25
3.5.1 Implementación a corto plazo	25
3.5.2 Implementación a medio plazo	25
3.5.3 Implementación a largo plazo	26
4. Conclusiones y líneas futuras	26
5. Referencias bibliográficas	27
ANEXOS	31
<u>ANEXO I. PROJECT CHARTER.....</u>	<u>A</u>

<u>ANEXO II. SITUACIÓN DEL GAAA I/74 DENTRO DEL ET</u>	B
<u>ANEXO III. COMPOSICIÓN Y FUNDAMENTOS DE UNA UDA</u>	D
<u>ANEXO IV. PRINCIPIOS DE LA DEFENSA ANTIAÉREA</u>	F
<u>ANEXO V. PREGUNTAS CUESTIONARIO</u>	J
<u>ANEXO VI. ESTRUCTURA DESGLOSE DE TRABAJO (EDT)</u>	T
<u>ANEXO VII: REGISTRO DE AVERÍAS DEL HIPIR “A” EN SIGLE Y 2404</u> ..	U
<u>ANEXO VIII. ESTADILLOS DE FILIACIÓN</u>	EE
<u>ANEXO IX. EJEMPLO PRUEBAS DIARIAS, SEMANALES, ETC</u>	HH
<u>ANEXO X. TABLAS ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS DATOS DE SIGLE</u>	JJ

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Organigrama base de un GAAA	2
Figura 1.2 Elementos de la Batería HAWK	3
Figura 1.3 Ciclo PDCA y Ciclo DMAIC	6
Figura 1.4 Fases, tareas y herramientas utilizadas para la consecución de los objetivos según el esquema DMAIC.....	8
Figura 2.1 Categorías de mantenimiento particularizadas a la Bía HAWK.....	9
Figura 2.2 Adaptación de la altura del argollón de los remolques	10
Figura 2.3 Esquema mantenimiento	11
Figura 2.4 Relación entre escalones y tipo de mantenimiento	11
Figura 3.1 Diagrama de identificación de averías por 2º escalón	14
Figura 3.2 Diagrama del proceso de reparación de averías.....	15
Figura 3.3 Diagrama de mantenimiento según el manual de la fuente.....	17
Figura 3.4 Distribución del tiempo invertido en la reparación.....	19
Figura 3.5 Nuevo proceso de identificación de averías.....	21
Figura II 0.1 Organigrama ET	B
Figura II.0.2 Organigrama FUTER	B
Figura II.0.3 Organigrama MAAA.....	C
Figura VII.0.5 Pruebas diarias HIPIR	HH
Figura VII.0.6 Pruebas diarias y semanales radar PAR	HH
Figura VII.0.7 Pruebas mensuales, trimestrales, semestrales y anuales del radar PAR...II	
Figura VII.0.8 Comprobación de lubricantes en CWAR	II

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Panel de expertos	12
Tabla 3.2 Resumen de las tablas del Anexo X	19
Tabla 3.3 Relación entre escalones y sus costes.....	20
Tabla 3.4 Resumen de las medidas de mejora sugeridas.....	25
Tabla VIII.6 Gráficos de las respuestas a la encuesta	K
Tabla VIII.7 Respuestas de los expertos	L
Tabla IX.8 Datos averías HIPIR "A" en SIGLE	U
Tabla IX.9 Desglose del tiempo invertido en la reparación	FF
Tabla X.10 Datos averías HIPIR "A" de estadillos 2404	EE
Tabla XI.11 Las 5 averías con mayor tiempo medio de reparación	JJ
Tabla XI.12 Las 5 averías con mayor frecuencia	JJ
Tabla XI.13 Las 5 averías con mayor tiempo de reparación	KK
Tabla XI.14 Las 5 averías con menor tiempo de reparación	KK
Tabla XI.15 Las 5 averías con mayor desviación estándar	LL

Listado de siglas, abreviaturas y acrónimos

3D	Tres Dimensiones
AAA	Artillería Antiaérea
ADP	<i>Air Defense Plan</i> , Plan de Defensa Aérea
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i> , Proceso de Jerarquía Analítica
AMRAAM	<i>Advanced Medium-Range Air-to-Air Missile</i> , Misiles Avanzados Aire-Aire de Alcance Medio
BCP	<i>Battery Command Post</i> , Puesto de Mando de Batería
Bía	Batería
Brig	Brigada
CCEA	Centro Corporativo de Explotación y Apoyo
CGTAD	Cuartel General Terrestre de Alta Disponibilidad
CIO	Centro de Información y Operaciones
CIS	<i>Communication and Information System</i> , Sistemas de Información y Comunicaciones
CPL	Centro de Personal y Logística
CWAR	<i>Continuous Wave Acquisition Radar</i> , Radar de Adquisición de Onda Continua
DA	Defensa Aérea.
DAA	Defensa Antiaérea
Dra	Doctora
EA	Ejército del Aire
EDT	Estructura de Desglose de Trabajo
ET	Ejército de Tierra
FAS	Fuerzas Armadas
FDC	<i>Fire Director Center</i> , Centro Director de Fuegos
FLO	Fuerza Logística Operativa
FUTER	Fuerza Terrestre
GAAA	Grupo de Artillería Antiaérea
GIS	<i>Geographic Information System</i> , Sistema de Información Geográfica.
HAWK	<i>Homing All the Way Killer</i>
HIMAD	<i>High to Medium Altitude Air Defense</i> , Defensa Aérea de Alta y Media Altura
HIPIR	High Power Illuminator Radar, Radar de seguimiento y tiro
IFF	<i>Identification Friend or Foe</i> , Identificación Amigo-Enemigo
ITV	Inspección Técnica de Vehículos
JEME	Jefe del Estado Mayor del Ejército
LASHE	<i>Low Altitude Simultaneous Hawk Engagement</i>
LNZ	Lanzadores
MAAA	Mando de Artillería Antiaérea
MACANA	Mando de Canarias
MALE	Mando de Apoyo Logístico del Ejército
MANPAD	<i>Man-Portable Air-defense System</i> , Sistemas de Defensa Aérea Portátiles
MINISDEF	Ministerio de Defensa
MSAM	<i>Medium Surface-to-Air Missile</i> , Misil Tierra-Aire de Medio alcance
NAR	Nivel Autorizado de Repuestos

NBQ	Nuclear-Biológico-Químico
NOC	Números OTAN de Catálogo
OAV	Observador Avanzado
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte
PAR	<i>Pulses Acquisition Radar</i> , Radar de Adquisición de Pulsos
PC	<i>Project Coordinator</i> , Coordinador del Proyecto
PDAL	<i>Prioritized defended assets list</i>
PIP III	<i>Product Improvement Plan 3</i> , Plan de Mejoras del Producto 3
PM	<i>Project Manager</i> , Director del Proyecto
PRD	Puntos de Recogida y Distribución
RAAA	Regimiento de Artillería Antiaérea
RAE	Real Academia Española
SAM	<i>Surface to Air Missile</i> , Misiles Tierra-Aire
Sec	Sección
SDGTIC	Subdirección General de Tecnologías de la Información y Comunicaciones
Sgto	Sargento
SHORAD	<i>Short Range Air Defence</i> , Defensa Aérea de Baja Altura
SIGLE	Sistema Integrado de Gestión de Logística del Ejército
SUMANTO	Subsistema de Mantenimiento
TCU	<i>Tactical Control Unit</i> , Unidad de Control Táctico
TFG	Trabajo de Fin de Grado
THAAD	<i>Terminal High Altitude Area Defense</i> , Defensa Aérea de Alta Altura Terminal
Tte	Teniente
TV	<i>Television</i> , Televisión
UAD	Unidad de Apoyo Directo
UCO	Unidades, Centros u Organismos
UDAA	Unidad de Artillería Antiaérea
UR	Unidad de Reparaciones
VSHORAD	<i>Very Short Range Air defence</i> , Defensa Aérea de Muy Baja Altura

MEMORIA

1. Introducción

El material del ejército es la herramienta de trabajo del que su personal dispone para llevar a cabo el correcto cumplimiento de las misiones encomendadas. Estos dos son los pilares fundamentales sobre los que se asientan las Fuerzas Armadas (FAS), sus recursos, tanto de personal como de material, y es de gran importancia el cuidado de ambos.

Concretando, en el sostenimiento del material aparece el término mantenimiento, cuya definición dada por la Real Academia Española (RAE) dice así: *“Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente.”*

En el ámbito militar, la función logística de mantenimiento se define como el conjunto de capacidades, actividades y métodos logísticos, realizados por el Subsistema de Mantenimiento (SUMANTO), necesarios para entretener, reparar, evacuar y recuperar el material [1]. Por otra parte, las operaciones de mantenimiento son todas las que se realizan con objeto de que el material se encuentre en estado operativo el mayor tiempo posible [2]. Estas operaciones se clasifican en categorías y escalones con el fin de:

- Coordinar el mantenimiento con cualquier tipo de operaciones militares.
- Organizar las operaciones de mantenimiento en las unidades.
- Distribuir las responsabilidades de mantenimiento entre los diversos niveles de Mando.
- Lograr una adecuada y eficaz utilización de los distintos recursos de mantenimiento (personal especializado, aparatos y herramientas).

En particular, este Trabajo Fin de Grado (TFG) tiene como objetivo el análisis y mejora de los procesos de mantenimiento de uno de los recursos de Artillería Antiaérea (AAA), el sistema de misiles HAWK, utilizando la metodología de calidad Seis Sigma.

En el documento Project Charter, que aparece en el Anexo I, se expone la secuencia de actividades llevadas a cabo durante el periodo de realización del presente TFG, así como la distribución del tiempo dedicada a cada actividad, los objetivos, stakeholders, etc.

1.1 Ámbito de aplicación y antecedentes

El mantenimiento del material es de vital importancia en cualquier unidad de las Fuerzas Armadas y su interés se acentúa cuando se habla de Artillería Antiaérea (AAA), debido a la presencia de gran cantidad de componentes electrónicos en su dotación.

La investigación necesaria para llevar a cabo este trabajo se ha realizado en el Regimiento de Artillería Antiaérea (RAAA) 74, concretamente el Grupo de Artillería Antiaérea (GAAA) I/74. Su situación orgánica dentro de las FAS se refleja en el Anexo II.

El regimiento tenía capacidad antimisil gracias al material PATRIOT que en diciembre de 2014 se proyectó en dos buques del Ejército de Tierra (ET) al puerto de Iskenderun para ser desplegada en la ciudad de Adana (Turquía) y proporcionar así defensa antimisil, integrada en la Operación “Active Fence” de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN). Fue entonces cuando el RAAA 74 dejó de tener la

capacidad de utilizarlo en ejercicios de instrucción y adiestramiento como material en dotación de la Unidad, así como las posibilidades que ofrecía.

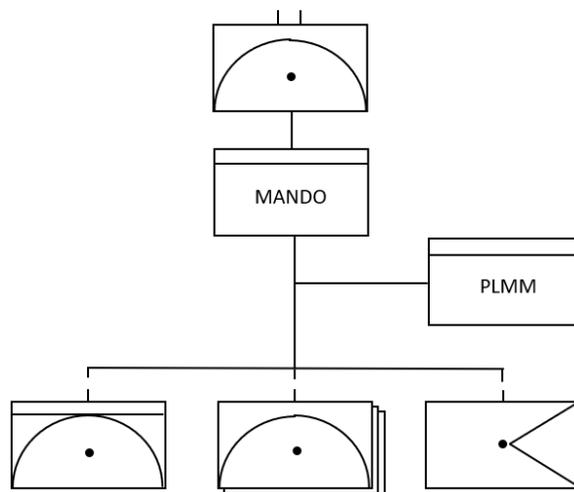


Figura 1.1 Organigrama base de un GAAA
Fuente: Manual del Oficial Táctico [3]

El GAAA es la unidad fundamental en el aspecto orgánico y constituye la base para la generación de Unidades de Defensa Antiaérea (UDAA) (véase Anexo III). Para ello tienen un diseño modular como se puede observar en la Figura 1.1, y cuentan con el personal y los medios necesarios para constituir los diferentes núcleos de mando y control, de apoyo logístico y de fuego que constituyen una estructura operativa de Defensa Antiaérea (DAA)¹. Debe permitir el funcionamiento permanente, la racionalización del trabajo, la integración de personal con los medios atribuidos [3]. Se compone de:

- Mando.
- Plana mayor de mando.
- Batería de plana mayor.
- Batería de servicios.

La finalidad de la DAA es proporcionar al mando libertad de acción², al oponerse a las acciones aéreas del enemigo, mediante la protección de fuerzas, zonas y puntos vitales de interés³, de acuerdo con las prioridades fijadas por cada mando a su nivel. Su éxito es clave para conservar la capacidad de combate de las organizaciones operativas en todo tipo de operaciones en las que exista amenaza aérea [3].

La DAA se lleva a cabo en base a una serie de principios que le permiten actuar de manera coordinada, precisa y oportuna (Véase Anexo IV, Principios de la DAA). Dichos principios precisan de un material muy específico que sea capaz de satisfacer sus necesidades. Al ser tan concreto el armamento de la AAA, es preciso que este se encuentre

¹ Hay que diferenciar entre la Defensa Aérea (DA) y la DAA. La DA es aquella que realiza el Ejército del Aire (EA) con sus aviones contra posibles enemigos de ala fija, rotatoria, misil u Observadores Avanzados (OAVs). En cambio, la DAA es la que realiza el Ejército de Tierra (ET) con sus sistemas de armas desde tierra.

² Principio fundamental del arte de la guerra.

³ Para cumplir su misión, las organizaciones operativas de DAAA pueden llevar a cabo esas acciones fundamentales.

siempre en las mejores condiciones posibles puesto que es el principal escudo de nuestro país en este ámbito.

1.2 Sistema de misiles Hawk

El sistema de misiles HAWK, objeto de estudio de este trabajo, está organizado y dotado de los medios antiaéreos precisos para dar cobertura antiaérea, a baja y muy baja cota⁴, a objetivos de gran importancia estratégica y/o táctica de una determinada zona del terreno. Se compone de un determinado número de equipos que, con una función específica cada uno de ellos, en conjunto proporcionan a la batería (Bía) la capacidad de llevar a cabo su misión. Tiene un alcance de 40 km [4], un techo de 18 km y una velocidad máxima de 2,5 mach⁵, además de un sistema de guía semiactiva y capacidad de amenaza múltiple LASHE⁶ (*Low Altitude Simultaneous Hawk Engagement*) [2].

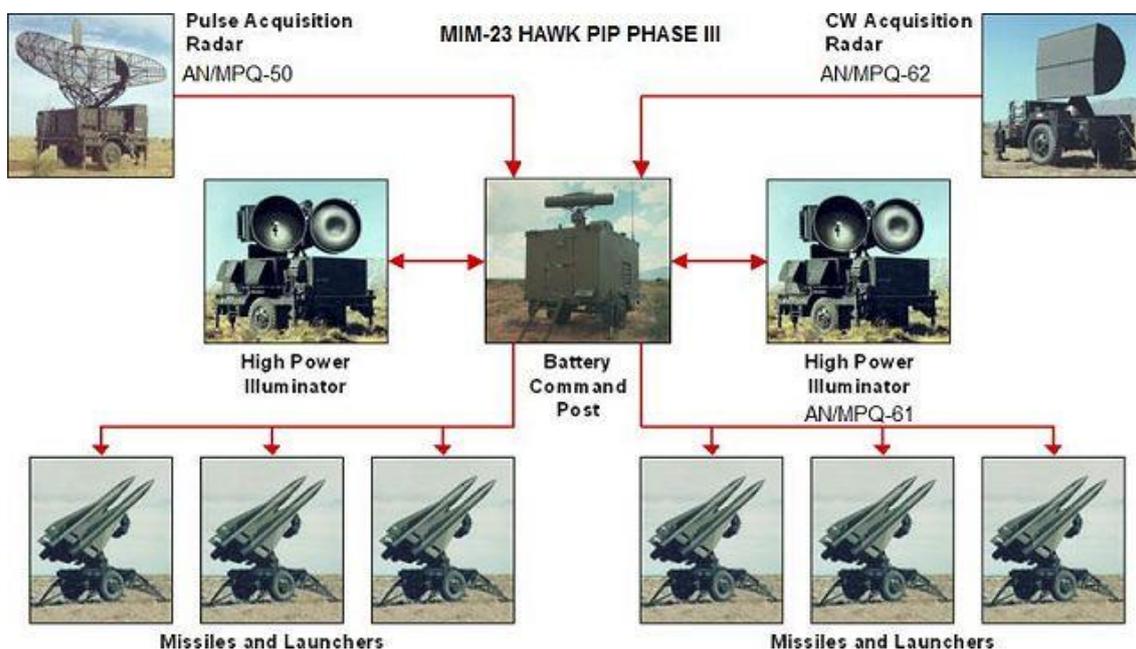


Figura 1.2 Elementos de la Batería HAWK
Fuente: Página Web elementos HaWK [20]

Los diferentes elementos del sistema Hawk se muestran en la Figura 1.2. A continuación, se recoge una breve descripción para cada uno de ellos.

- **PAR** (*Pulses Acquisition Radar*, Radar de Adquisición de Pulsos): Proporciona a la batería su capacidad de adquisición de objetivos a medias alturas. Con un alcance de unos 120 km y una antena muy característica, es el equipo de la Bía que menos actualizaciones ha sufrido.
- **CWAR** (*Continuous Wave Acquisition Radar*, Radar de Adquisición de Onda Continua): Proporciona a la batería su capacidad de adquisición de objetivos a baja y muy baja cota. Cuenta con un alcance aproximado de 80 km, y es el radar de adquisición principal de la Bía en la fase PIP III (*Product Improvement Plan 3*, Plan de Mejoras del Producto 3).

⁴ Se refiere a una manera de clasificar los sistemas de armas según su altura máxima posible (techo). Ver el Anexo IV.

⁵ Término que hace referencia a la velocidad de un misil. Así, 1 mach equivale a una vez la velocidad del sonido (340 m/s).

⁶ Subsistema del sistema Hawk que le permite contrarrestar los ataques de saturación interceptando simultáneamente múltiples objetivos de bajo nivel.

- **HIPIR** (*High Power Illuminator Radar*, Radar de seguimiento y tiro): Con un alcance aproximado de 90 km permite a la Bía obtener datos precisos del blanco para su interceptación. Se cuenta con dos radares por Bía, que en la fase PIP III permiten la interceptación de múltiples blancos gracias a la tecnología LASHE. Cuentan también con cámaras de vídeo que permite el seguimiento óptico y por tanto pasivo⁷ de la amenaza.
- **BCP** (*Battery Command Post*, Puesto de Mando y Combate): El equivalente al FDC (*Fire Director Center*, Centro Director de Fuegos) de Bía en campaña, es el centro donde se fusiona toda la información del espacio aéreo procedente tanto de los sensores de la propia Bía como de los elementos ajenos a ella (escalón superior), contribuyendo también a la información que tiene el escalón superior mediante el envío de las trazas propias. En la BCP se generan las órdenes de predicción y fuego a los lanzadores, y se gestionan las comunicaciones internas y externas de la batería. La BCP lleva además en el techo el radar IFF⁸ (*Identification Friend or Foe*, Identificación Amigo-Enemigo), que permite que la Bía tenga un elemento más de juicio de cara a la identificación de las trazas⁹.
- **Lanzadores** (LNZ): equipo que posibilita el lanzamiento y transporte en su caso de los misiles, con capacidad de cargar tres misiles por lanzador, a seis lanzadores por Bía, lo que da un máximo de 18 misiles presentes. Se enlazan a la BCP mediante la caja de empalme (en Bías analógicas) o directamente (digitales)¹⁰.
- **Montaje**: El pelotón de montaje consta de una serie de arzones¹¹ (de tierra o de ruedas), caballetes, herramientas específicas para su labor, equipos de presurización, que permiten el desempaque de los misiles y su posterior montaje.
- **Grupos electrógenos** (GG.EE): los GG.EE. de 60 kW proporcionan la corriente específica del sistema Hawk. Cada batería cuenta con seis grupos.

1.3 Motivación y justificación

Uno de los factores más notorios de este sistema para el presente trabajo es que su entrada en servicio por primera vez fue en 1962, pero un programa de distintas actualizaciones (PIP I, PIP II, PIP III) ha conseguido que no se quedara obsoleto. Con esto es importante remarcar la antigüedad de muchos de sus componentes y la dificultad para encontrar repuestos a la que se enfrentan los escalones de mantenimiento de las unidades que poseen este material.

⁷ Seguimiento pasivo se refiere a que el dispositivo no emite radiación, por lo que no puede ser detectado por la aeronave enemiga.

⁸ Radar secundario que le permite proporcionar a las trazas aéreas una identificación amigo-enemigo, de manera electrónica y segura.

⁹ Firma aérea de una aeronave que un radar es capaz de captar.

¹⁰ La diferencia fundamental entre batería analógica y batería digital es que la analógica necesita de una caja de empalme que conecte los lanzadores con la BCP, mientras que la digital carece de esta necesidad. Además, en las baterías digitales los lanzadores pueden desplazarse con los misiles cargados y en las analógicas no. Actualmente las baterías digitales se encuentran en el GAAA II/74 en Dos Hermanas (Sevilla), y las analógicas en el GAAA I/74 en San Roque (Cádiz).

¹¹ Estructuras metálicas sobre las que descansan los misiles antes de ser colocados en los lanzadores. Cuando es de tierra se trata de la estructura metálica del armón en sí. Cuando es de ruedas es el mismo armón colocado sobre una estructura con ruedas.

Su última modificación tuvo lugar durante los años 1997/98. Es por esto la imperiosa demanda y necesidad de las labores de mantenimiento hacia los elementos que componen el sistema. Los talleres en los que se realizan estas labores y la gran preparación del personal que los sirve son el sustento de la operatividad de este sistema de armas que, con sus capacidades, puede considerarse la columna vertebral de la DAA española.

El prolongado y continuo uso de los componentes de este sistema es el principal causante de sus fallos. Su antigüedad implica que, por ejemplo, muchos de los cables de los sistemas electrónicos estén deteriorados produciendo problemas de difícil detección que pueden dejar inoperativo al aparato en cuestión durante meses, una situación inaceptable. De igual modo, acelerado en este caso por las extremas condiciones de salinidad, temperatura y humedad del área geográfica en la que esta unidad desarrolla sus actividades, es necesaria la reposición de determinados componentes críticos para devolver los subconjuntos del sistema a su estado de operativo óptimo [5].

Por otra parte, hay que tener en cuenta que el sistema es de origen estadounidense fabricado por la empresa Raytheon Corporation [6]. En Estados Unidos este sistema fue sustituido en 1994 por el MIM-104 PATRIOT de la misma empresa. Con esto se pretende reflejar que la producción de los materiales del sistema HAWK ha disminuido considerablemente desde su primera aparición, y, por lo tanto, encontrar repuestos de los distintos subsistemas puede convertirse en una tarea tediosa, si no existe como cláusula contractual la obligación de dicho suministro por parte de la empresa proveedora.

Un hecho adicional es el alto valor económico de ciertas partes del sistema. Así, el coste unitario de los misiles asciende a 250.000 dólares; la unidad de disparo cuesta 15 millones de dólares y el valor total de una batería completa es de 30 millones de dólares. Estas elevadas cantidades hacen obligatorio el correcto mantenimiento del material y la búsqueda de la consiguiente prolongación de su vida útil [4].

1.4 Objetivos del trabajo

El objetivo principal del presente TFG es asesorar al mando respecto a las posibilidades del mantenimiento del material de la Artillería Antiaérea y, en concreto, del sistema HAWK en el GAAA I/74, proporcionando orientación en el proceso de toma de decisiones relativo a la mejora y agilización del sistema actual mediante el planteamiento de posibles soluciones a sus deficiencias.

Con el fin de lograr este objetivo principal se establecen una serie de subobjetivos complementarios y sinérgicos que son:

- Utilizar la metodología Seis Sigma para identificar, clasificar y jerarquizar las deficiencias del sistema de mantenimiento actual relativo a 1^{er} y 2^o escalón.
- Recopilar y analizar la información relativa al producto (HAWK) y proceso mantenimiento, basado en el histórico de averías, panel de expertos, etc.

- Proponer una serie de posibles soluciones a las deficiencias detectadas, prestando especial atención a los protocolos y procedimientos de interoperabilidad actuales

1.5 Metodología y alcance

La metodología seguida ha sido Seis Sigma que, junto al procedimiento DMAIC, consiste en un ciclo de constante mejora de procesos. Estos conceptos se explicarán a continuación, así como el alcance del proyecto que lleva su nombre.

1.5.1 Fundamentos Seis Sigma

Seis Sigma puede definirse como una metodología sistemática que permite la resolución de problemas identificados en procesos, por medio de herramientas cuantitativas y cualitativas, de una manera clara, sostenible y generando un ahorro de coste [7]. Los conceptos clave en la metodología Seis Sigma son equipo, proceso, cliente y beneficio.

Gran cantidad de los datos de mediciones en el mundo real se distribuyen de una manera aproximada a una curva normal, con la mayoría de sus datos agrupados en torno a la media. La frecuencia de aparición de los sucesos suele disminuir cuanto más se alejen los valores de la media.

Asumiendo que los datos de un proceso siguen una distribución normal, la desviación estándar o típica (σ) puede ser utilizada para medir la dispersión de los datos respecto a la media o bien la calidad de un proceso o sistema. El nivel sigma define gráficamente cuantas desviaciones típicas (σ) hay entre la media de todos los datos del proceso (μ) y los valores de tolerancia establecidos por el usuario. Según el nivel sigma con el que se trabaje, cambiará el número de deficiencias encontradas en los procesos investigados [8].

1.5.2 Metodología DMAIC

La metodología DMAIC se utiliza en todos los proyectos Seis Sigma y es un ciclo con varias fases de actuación, basado en el ciclo PDCA, de mejora continua tal y como se muestra en la Figura 1.3:

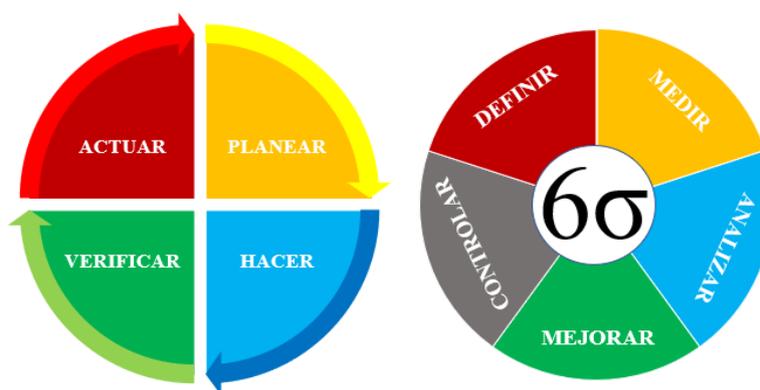


Figura 1.3 Ciclo PDCA y Ciclo DMAIC
Fuente: Elaboración propia.

Las principales actividades por desarrollar en cada una de las fases de la metodología DMAIC son: definir, medir, analizar, mejorar y controlar.

- **Definir (D):** es la primera de las fases del ciclo de mejora y se centra fundamentalmente en determinar cuál es el problema que necesita resolución, fijando el alcance, los objetivos del proyecto, y teniendo en cuenta los requerimientos del usuario. En esta etapa hay que generar un equipo para el proyecto, así como establecer el plan temporal y estimar las potenciales mejoras.
- **Medir (M):** Es la segunda fase del ciclo de mejora y durante este paso se recopilan datos del proceso a mejorar para determinar la situación inicial y cuantificar el problema. Para ello se define el entorno de trabajo, los puntos de medición a controlar, recogida de datos y detallar el proceso minuciosamente. Tras la recoger los datos, en una cantidad apropiada y de calidad, se cuantifica el problema de la manera más exacta posible.
- **Analizar (A):** Es la tercera de las fases del ciclo de mejora durante la cual se analizan y determinan las posibles causas raíz del problema a mejorar y/o eliminar. Basándose en los datos recogidos en la etapa anterior, se plantean posibles hipótesis de las causas raíz de los fallos, y, como resultado del análisis, se pueden elaborar las primeras ideas de mejora del proceso que se implementarán en la siguiente fase.
- **Mejorar (I):** Es la cuarta de las fases del ciclo de mejora y se centra en generar e implementar las medidas de mejora del proceso analizado y evaluar su influencia sobre el mismo generando nuevas medidas o modificando las existentes, en caso necesario. La primera tarea es generar todas las ideas de mejora posibles para proceder después a la valoración de estas y a realizar un análisis coste/beneficio que surge de la posible implementación de las mismas. Es importante destacar que se deben identificar posibles riesgos derivados de las medidas. La fase termina con la elección e implementación de las acciones de mejora.
- **Controlar (C):** Es la última fase de cualquier proyecto Seis Sigma. Aquí se pretende que cualquier persona integrante del proceso sea capaz de entender el proyecto realizado y, detectar, de manera sistemática, cualquier desviación a las medidas establecidas que configurarán el proceso mejorado.

1.5.3 Alcance

Este sistema de misiles, a pesar de su avanzada edad, sigue siendo uno de los más importantes para la DAA española debido a sus altas capacidades, llegando incluso a liderar ejercicios conjuntos del MDOA (Mando de Defensa y Operaciones Aéreas), como el realizado en la isla de Ibiza la semana del 23 al 29 de septiembre. Es por ello por lo que cualquier intento por mantenerlo activo, como puede ser el estudio realizado en este TFG sobre la posible mejora del mantenimiento del sistema, posee gran valor.

En este trabajo, para cumplir los objetivos propuestos, se seguirán los pasos de la metodología DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar) realizando para ello distintas tareas y utilizando herramientas como las que se observan en la Figura 1.4:

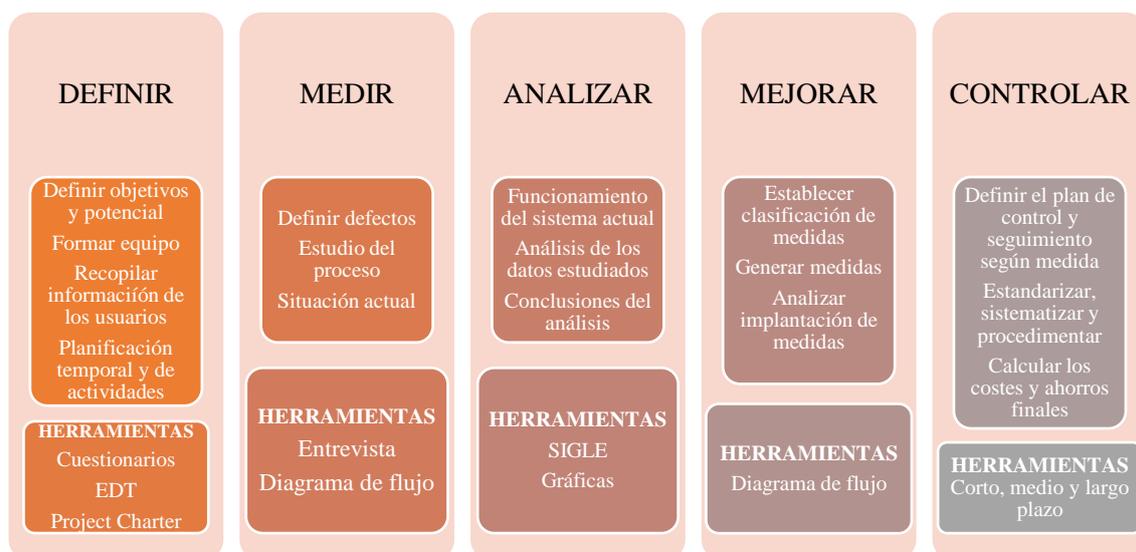


Figura 1.4 Fases, tareas y herramientas utilizadas para la consecución de los objetivos según el esquema DMAIC

Fuente: Elaboración propia

Para llevar a cabo esta metodología y obtener finalmente los objetivos fijados se han utilizado diferentes herramientas de planificación como son el Project Charter y la Estructura de Desglose de Trabajo (EDT). Ambas herramientas están estrechamente ligadas, pues el Acta de Constitución o Project Charter sienta las bases sobre las que se desarrolla la EDT. Por lo tanto, para llegar a obtener los resultados deseados será de importancia el correcto seguimiento de la información contenida en estos dos documentos, en particular, en relación a los hitos y paquetes de trabajo.

Las actividades que aborda el trabajo, por tiempo disponible de estancia en la unidad, solo consideran las primeras fases del proyecto Seis Sigma, no obstante, sí que plantea la planificación de todas las fases DMAIC.

2. Estado del arte: Escalones y tipo de mantenimiento

En este apartado se procede a explicar cómo está estructurado el mantenimiento en el ET, común a todas las unidades. También se comentan los diferentes tipos de mantenimiento existentes, en este caso pertenecientes al mundo civil y se establece una relación gráfica entre la estructura militar y los tipos civiles.

Una vez entendidos todos esos conceptos se procede a mencionar cómo se desempeña el mantenimiento que nos es de interés (1^{er} y 2^o escalón) en el GAAA I/74, desde los libros de filiación comunes a todas las unidades de mantenimiento del ET hasta instalaciones únicas en esta unidad dedicadas exclusivamente a tareas de mantenimiento.

En el sistema HAWK, así como en todas las unidades del ET, el mantenimiento se desglosa en una serie de escalones y categorías con distintos fines como se menciona en la introducción [2]. Dichas categorías están reflejadas en la Figura 2.1.



Figura 2.1 Categorías de mantenimiento particularizadas a la Bía HAWK
Fuente: Elaboración propia.

Una vez conocidos los diferentes escalones de mantenimiento hay que diferenciar también los tipos de mantenimiento que existen, tal y como se muestra en la Figura 2.1, pues dependiendo del momento o del objetivo de la acción en sí de mantenimiento recibe un nombre u otro. Éstos son los siguientes objetivos de acuerdo con [1]:

- **Mantenimiento Preventivo:** destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante la realización de revisión y limpieza que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad. Se realiza sobre equipos en funcionamiento y su objetivo es prevenir incidencias antes de que estas ocurran. Puede incluir tareas como cambio de piezas desgastadas, cambios de aceites, lubricantes, etc. Es programable.
- **Mantenimiento Correctivo:** aquel que corrige los defectos observados en equipos o instalaciones, es la forma más básica de mantenimiento y consiste en localizar averías y repararlas. Al realizarse con posterioridad al fallo no puede programarse y presenta costes por reparación y repuestos. Restituye las condiciones de servicio del material averiado. Puede dividirse en inmediato (cuando se realiza la corrección inmediatamente después de aparecer la avería con los medios disponibles) o diferido (cuando una vez ha aparecido el fallo se produce un paro de la corrección para afrontar posteriormente la reparación mediante la solicitud de medios).
- **Mantenimiento Condicional o Predictivo:** está basado en la determinación de la condición técnica del equipo. Las máquinas darán un tipo de aviso antes de que fallen y este mantenimiento trata de percibir los síntomas para después tomar acciones y decisiones de reparación antes de que ocurra el fallo. Consiste en una revisión periódica de ciertos aspectos que influyen en el desempeño fiable del sistema y en la integridad de su infraestructura. En resumen, realiza determinadas tareas de mantenimiento preventivo cuando se alcanza una condición.
- **Mantenimiento Evolutivo:** aquel que intenta modificar algo que funcionaba o era correcto, con el fin de aumentar, disminuir o cambiar las funcionalidades del sistema, ya sea por las necesidades del servicio o por otras razones como, por ejemplo, adaptaciones a nuevos materiales.



Figura 2.2 Adaptación de la altura del argollón de los remolques

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2.2 se puede observar un ejemplo de este tipo de mantenimiento. Los remolques de todos los aparatos del sistema HAWK han necesitado ser modificados debido al cambio del modelo de los camiones. Antes de este cambio el modelo de camión utilizado era el PEGASO 30/45, de una altura inferior al actual modelo IVECO M250 por lo que el argollón¹² de cada remolque tuvo que ser colocado a una altura acorde con los nuevos camiones [9].

- **Mantenimiento Modificativo:** aquel que aplica acciones para modificar las características del material o las instalaciones, y lograr de esta forma una mayor fiabilidad o mantenibilidad. Forma parte del mantenimiento preventivo y se centra en mejorar el diseño transformando sus capacidades operativas, de seguridad, medioambientales, etc. pudiendo suponer un cambio sustancial.
- **Mantenimiento Adaptativo:** son modificaciones que afectan a los entornos en los que el sistema opera, por ejemplo, cambios en la configuración del hardware, software de base, gestores de bases de datos, comunicaciones, etc. Pretende implementar los cambios tecnológicos en lo que al software se refiere.

La Figura 2.3 muestra un esquema visual donde se divide el mantenimiento en dos ramas: el de conservación, destinado a prevenir y corregir defectos del material; y el de actualización, el cual incluye modificaciones y actualizaciones a los aparatos. En la Figura 2.4 se esquematiza la relación entre los distintos tipos de mantenimiento y los escalones, mostrando el tipo de mantenimiento que realiza cada escalón y el personal que los integra.

¹² Parte trasera de distintos vehículos o aparatos en forma de argolla utilizada para remolcar a estos vehículos o aparatos cuando pierden su capacidad de movimiento propio, o para dar la capacidad de movimiento en el caso de no ser de motor.

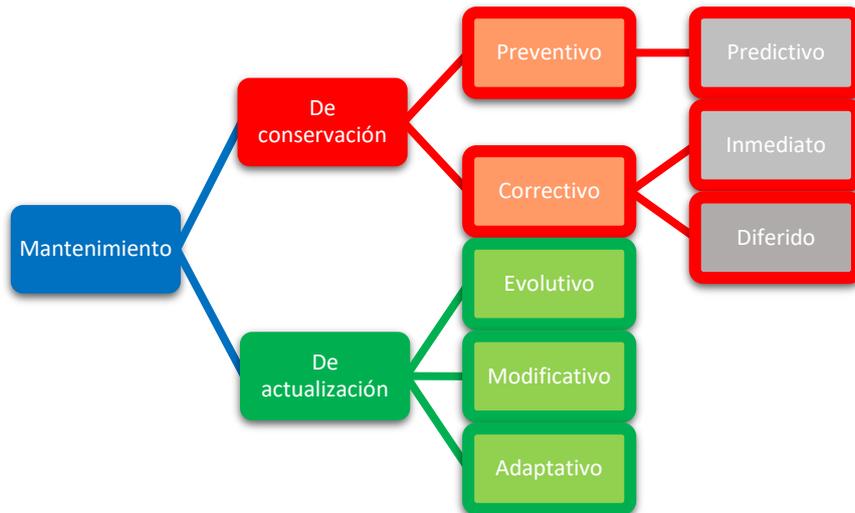


Figura 2.3 Esquema mantenimiento
Fuente: Elaboración propia

Primer Escalón	Segundo Escalón	Tercer Escalón	Cuarto Escalón	Quinto Escalón	
Desarrollado por el operador según el manual del equipo, quien desarrolla el mantenimiento	Integrado dentro de la Bía en la Sección de Mantenimiento, y es quien se encarga de un mantenimiento	Desarrollado por las UAD.s (Unidades de Apoyo Directo) de los Grupos.	desarrollado por el Grupo UR.	Desarrollado por fábrica.	Mantenimiento preventivo
preventivo y detecta cualquier anomalía objeto de corrección por parte del Segundo Escalón.	más especializado, desarrollado a nivel preventivo y correctivo autorizado según el Escalón superior.				Mantenimiento correctivo
USUARIO	SECCION MANTENIMIENTO	UAD	UR	FÁBRICA	
Mantenimiento orgánico		Mantenimiento integral			

Figura 2.4 Relación entre escalones y tipo de mantenimiento
Fuente: Adaptación de esquema relación escalones-mantenimiento [10]

3. Proyecto Seis Sigma

Para llevar a cabo el método se han seguido una serie de etapas y herramientas ya determinadas por el método DMAIC anteriormente expuesto.

3.1 Definir

La fase “Definir” tiene como principales actividades establecer los objetivos del proyecto, así como formar un equipo de expertos que ayude a la investigación y documentar sus opiniones al respecto.

3.1.1 Objetivos del proyecto

Los objetivos del proyecto Seis Sigma son claros:

- Identificar y definir los errores principales y más comunes del mantenimiento del sistema HAWK, a partir de las sugerencias de los mismos usuarios que lo operan y de los datos del histórico de averías.

- Utilizar los datos obtenidos para medir la gravedad de las deficiencias identificadas.
- Identificar la causa raíz de los fallos, cuantificarlos y verificar sus orígenes.
- Generar varias soluciones posibles y, mediante el análisis y estudio de cada una de ellas, elegir la óptima para su posterior implementación.
- Una vez implementada las medidas, generar un plan de seguimiento y control para verificar que se la medida tomada cumple con su propósito.

3.1.2 Selección del equipo de expertos

Se seleccionó a un grupo de cuatro mandos del GAAA I/74 (San Roque), los cuales, incluidos en la Tabla 3.1, han ejercido mando en diferentes puestos del sistema HAWK del mismo Regimiento entre 4 meses y 14 años, para que responderían a diferentes cuestionarios de forma individual. Además, se ha incluido a un soldado autorizado en el manejo del SIGLE por su conocimiento y trabajo diario con este sistema. El panel de expertos ha permanecido invariable durante las distintas etapas.

EMPLEO	APELLIDOS	NOMBRE	DESTINO
Teniente	Lillo Díaz	Enrique	Jefe Scc de fuegos 1ª Bía
Brigada	García Jiménez	Juan M.	Jefe Scc de mantenimiento 1ª Bía
Sargento Primero	Soult Sarmiento	José Rodrigo	Mecánico mantenimiento del sistema de 2º escalón
Sargento Primero	Caro Menacho	Alberto	Operador BCP Scc de fuegos 1ª Bía
Soldado	Centeno Benítez	Adrián	Operador SIGLE Scc de mantenimiento, Repuestos de 1ª Bía

Tabla 3.1 Panel de expertos
Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Opiniones de los usuarios

Se han realizado una serie de cuestiones al equipo de expertos para poder entender mejor la situación general del mantenimiento del HAWK, así como para conocer sus opiniones acerca del mismo basando sus respuestas en la experiencia que poseen. Las preguntas realizadas al equipo, aunque muy generales, ayudan a determinar diferentes aspectos del sistema que no aparecen en los manuales. Las preguntas y sus respectivas respuestas se encuentran en el Anexo V.

Las siete primeras preguntas se han establecido de manera que sean de respuesta cerrada, con el objetivo de poder comparar los resultados y evitar una pérdida de tiempo mayor al equipo de expertos. Además, las respuestas han sido muy esclarecedoras para lograr adquirir una visión general de la situación del sistema de misiles.

La última pregunta ha sido de respuesta abierta para conocer las inquietudes de cada miembro del equipo respecto a los problemas de mayor importancia del mantenimiento. Se ha seguido el modelo de lluvia de ideas o “Brainstorming”. De esta manera, de las respuestas se pueden obtener ciertas conclusiones visibles en el Anexo V.

3.1.4 EDT

En el Anexo VI se puede consultar la EDT, herramienta de gran interés para la planificación de los hitos y de los trabajos a realizar.

3.2 Medir

La fase “Medir” utiliza la información recabada para establecer un diagrama del proceso y definir los defectos encontrados.

3.2.1 Definir defectos

Para poder definir los defectos del sistema HAWK que más trabajo dan a la sección de mantenimiento de la Bía, se han tenido en cuenta dos puntos de vista. Por una parte, se van a estudiar los problemas que los usuarios del sistema han mencionado en los cuestionarios, pues son los que su dilatada experiencia les sugiere más comunes y tediosos. Por otra parte, en base a los datos de SIGLE y a los estadillos 2404 rellenos por los usuarios, se estudiarán los fallos del sistema que han necesitado ser subsanados por 1^{er} y 2^o Escalón.

Así, en el Anexo V se puede ver la descripción de los problemas que los expertos seleccionados opinan que son de mayor importancia en lo que a mantenimiento se refiere y que son, en resumen, los más frecuentes y molestos para ellos.

Para poder definir las averías reales documentadas que sufre el sistema de misiles HAWK se ha realizado un estudio sobre todos los fallos que ha sufrido el HIPIR “A” desde febrero de 2008 hasta octubre de este mismo año. Los datos recogidos se muestran en el Anexo V. Los datos extraídos de los estadillos 2404 encontrados sobre este mismo aparato van desde enero de 2015 hasta junio de 2017. Estos datos aparecen en el Anexo VII.

3.2.2 Proceso detallado

En la Figura 3.2 se puede observar el proceso de resolución de las averías surgida en los aparatos del sistema HAWK, centralizando el estudio en 1^{er} y 2^o escalón y su relación con SIGLE. En esa misma Figura 3.2 aparece el formulario 401, el cual completa y entrega la sección de mantenimiento de una batería cuando se cree incapaz de subsanar una avería antes incluso de haber intentado repararla. Es, por tanto, una petición directa de ayuda a la UAD.

En la Figura 3.1 se muestra el proceso que tiene que seguir un operario del 2^o escalón de mantenimiento para identificar las averías que sufren los aparatos. Cuando el técnico no es capaz de identificar la avería con facilidad, debe consultar los distintos manuales que aparecen en la Figura 3.1.

En el manual TM9 1430 2533 24P se recoge la información sobre las piezas del HIPIR. En él, los técnicos de mantenimiento consultan los Números OTAN de Catálogo (NOC)¹³, esquemas, paneles, etc. Una vez identificada la pieza en cuestión, el técnico debe consultar el siguiente manual, el TM9 1430 2533 12. En este caso se utiliza para localizar las averías. Los técnicos consultan aquí los circuitos y los componentes electrónicos del aparato. Según la pieza localizada en el primer manual, y los

¹³ Se trata de un número identificador. Cada pieza individual posee uno, así como cada aparato en conjunto.

componentes electrónicos en el segundo, los operarios son conducidos a otro de los manuales que aparecen en la Figura 3.1.

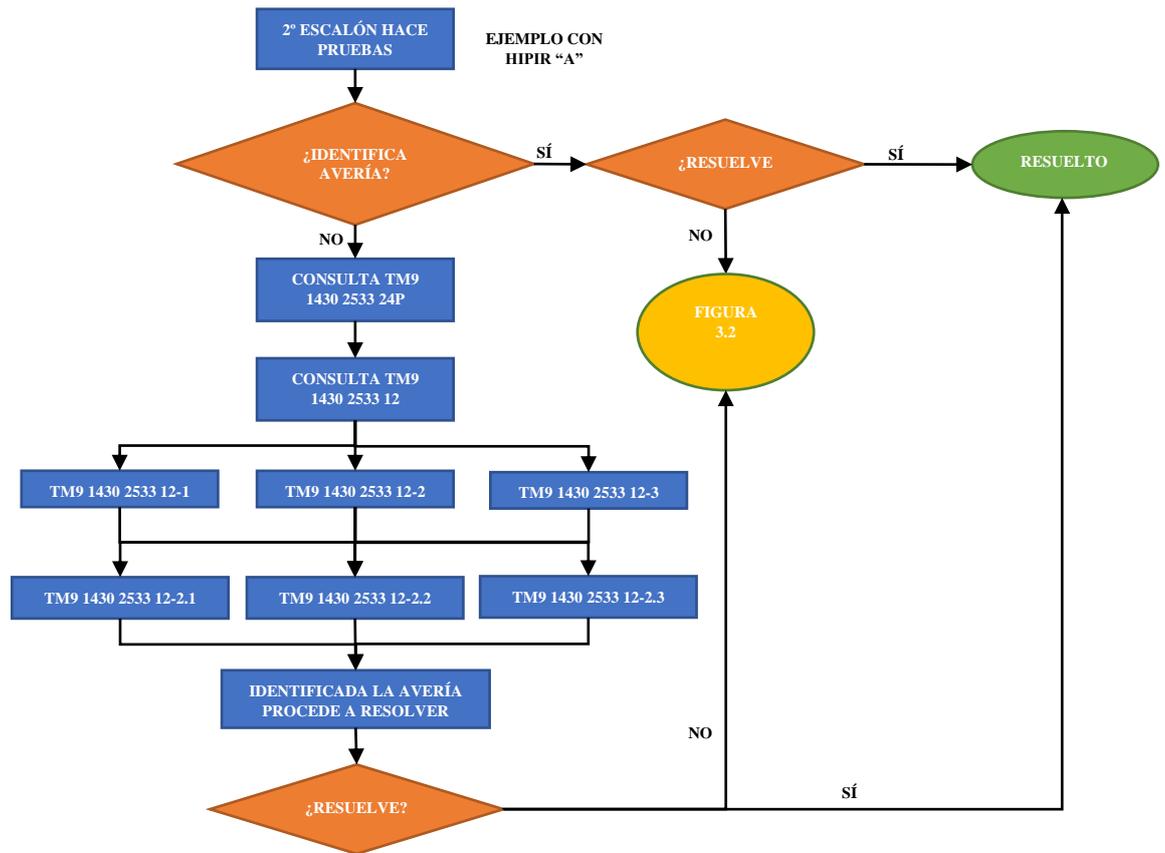


Figura 3.1 Diagrama de identificación de averías por 2º escalón
Fuente: Elaboración propia

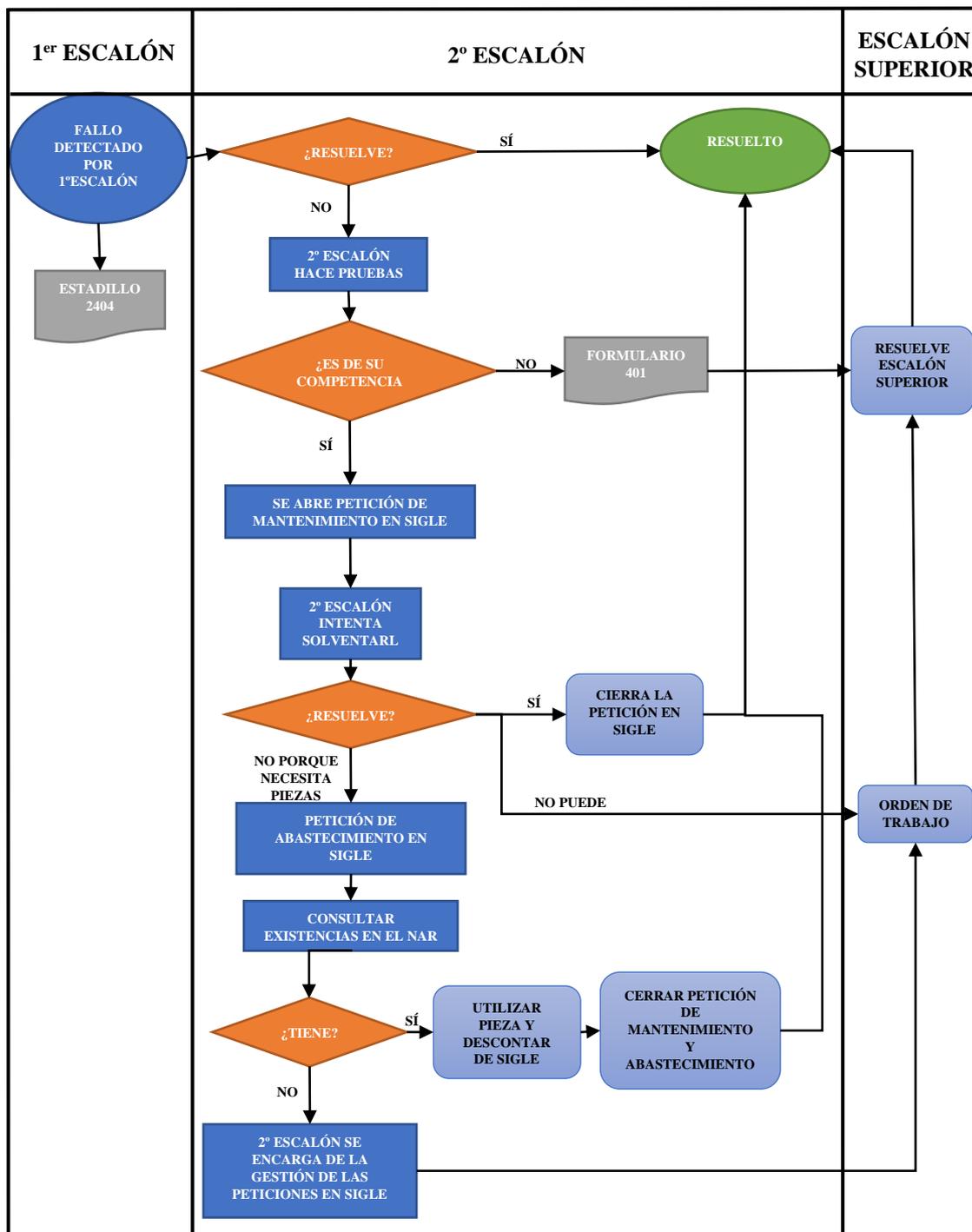


Figura 3.2 Diagrama del proceso de reparación de averías
Fuente: Elaboración propia

3.3 Analizar

En esta fase se incluye el estudio de la situación actual del mantenimiento del sistema de armas. Además, se analizan los datos recabados de averías de los últimos años para localizar las posibles fuentes de error y se concluye con un estudio de los datos obtenidos que ayuden a entenderlos en conjunto.

3.3.1 Funcionamiento del sistema actual

En este subapartado se procede a explicar todos los medios destinados al mantenimiento que posee el acuartelamiento “Cortijo de Buenavista”, y de los que se valen los usuarios del sistema para mantenerlo en las condiciones adecuadas.

3.3.1.2 Unidad de Reparaciones

Como se ha visto anteriormente, en el acuartelamiento está el GAAA I/74 y la UR III/74. Esta última unidad dispone de diversos talleres que permiten llevar a cabo el mantenimiento de cuarto escalón del sistema HAWK, así como algunas labores de mantenimiento del escalón superior. Los principales son: el Taller de Ensamblado de Misiles, los Talleres de Apoyo, los Talleres HAWK, y de los almacenes correspondientes [5].

3.3.1.3 Libros de filiación y diagrama de proceso

Actualmente, existen unos libros de filiación correspondientes a cada aparato donde quedan reflejados el control del mantenimiento de cada uno de ellos. Se denomina filiación de un aparato al conjunto de información escrita sobre las peculiaridades y vicisitudes de este. La filiación de cada aparato deberá acompañarlo siempre y la información reflejada deberá estar al día, no admitiéndose más de 24 horas de demora [11].

La responsabilidad de mantener actualizada la información corresponde al Jefe de Equipo, salvo aquellas anotaciones a realizar por el personal de mantenimiento de 2º Escalón o superiores, todo ello bajo la supervisión del Oficial Jefe de la Sección de Mantenimiento de la Batería.

Las anotaciones en los diversos estadillos que registran servicios realizados al material deberán estar coordinadas con ciertas anotaciones, de forma que en todo momento quede constancia exacta de los servicios realizados al material y los pormenores de estos.

En los diferentes estadillos relativos a 1º y 2º Escalón de los que se compone el libro de filiación se desarrollan las explicaciones para que el personal del equipo realice las funciones de control de mantenimiento que le están encomendadas. Estos estadillos son (según Anexo VIII):

- Estadillo 2404.
- Estadillo 2407.
- Estadillo DD 314.
- Estadillo 0054.
- Estadillo 0055-0056.
- Estadillo 0057.
- Estadillo 0058.
- Estadillo 0061.
- Estadillo 0064.

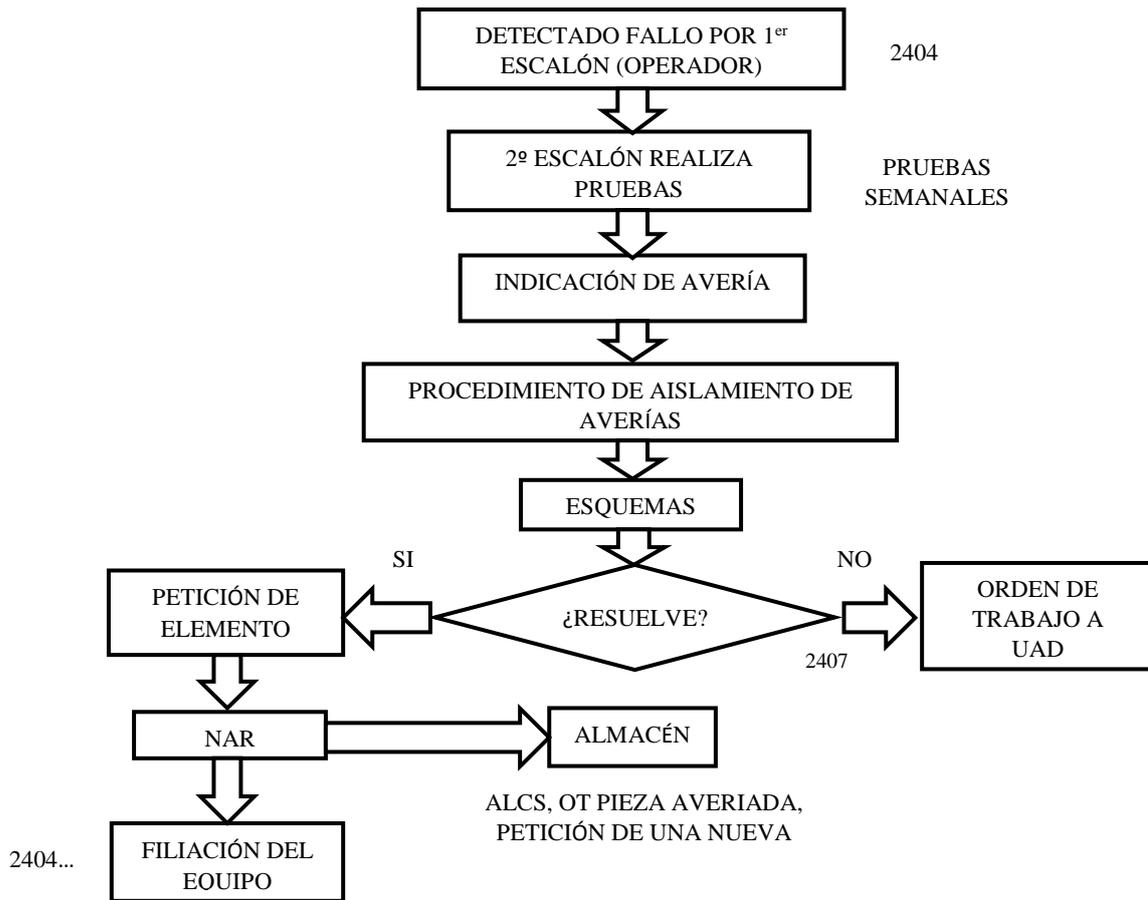


Figura 3.3 Diagrama de mantenimiento según el manual de la fuente
Fuente: [2]

El diagrama de la Figura 3.3 representa la forma de trabajar de las personas involucradas en el mantenimiento de primer y segundo escalón. En el mismo, se indica el momento en el que se deben realizar los estadillos apropiados para cada situación.

En primer lugar, son los operarios los que detectan la avería y los que rellenan el estadillo 2404. El segundo escalón realiza una serie de pruebas semanalmente y revisan lo apuntado en el 2404 para la consiguiente indicación de la avería. En función de si pueden solucionar la deficiencia o no se tomarán unas medidas u otras. Si el 2º escalón no puede solventarla, rellenará el estadillo 2407 para que se encargue la UAD de la avería. Si el 2º escalón puede resolverla, realizará una petición del elemento en cuestión. Este escalón deberá consultar su NAR (Nivel Autorizado de Repuestos) y en caso de no disponer de la pieza en stock, se encargará de pedirla al almacén. En el caso de sí disponer de ella, completará el 2404 abierto al comienzo del proceso para finalizarlo y este documento quedará incluido en el libro de filiación del aparato objeto de avería.

Como aparece en la Figura 3.3, existen una serie de pruebas diarias, semanales, mensuales, trimestrales, semestrales o anuales que se les deben realizar a los diferentes aparatos (Según Anexo IX).

3.3.1.4 “Nave PIP”

Además del sistema de los libros de filiación y de los distintos escalones de mantenimiento, en el GAAA I/74 disponen de una instalación a la cual denominan “Nave PIP”. Dicha nave es un recinto en la que las Bías pasan un periodo de entre 6 meses y 1

año para subsanar las necesidades de mantenimiento que hayan surgido mientras estaban desplegadas para la instrucción. Aquí participan todos los escalones de mantenimientos pues se solucionan las deficiencias a todos los niveles, desde volver a pintar los aparatos hasta arreglar circuitos internos de los mismos, pasando por reparar abolladuras de chapas metálicas.

La disponibilidad de la “Nave PIP” va rotando entre las tres Bías del GAAA, de manera que siempre hay dos de ellas desplegadas para la instrucción y otra más en esta instalación. En definitiva, se trata de un periodo en el que la Bía en cuestión no se encuentra operativa y se aprovecha para dejar los elementos en óptimas condiciones de funcionamiento.

3.3.1.5 SIGLE

Por otra parte, al igual que todas las unidades, el GAAA dispone del Sistema Integrado de Gestión Logística del Ejército (SIGLE) de Tierra Español. Más de 10.000 usuarios utilizan el citado sistema dentro del ET, organización que dispone de más de 1.000 Unidades, Centros u Organismos (UCOs). A través de SIGLE se gestionan más de 500.000 materiales de diferentes tipos. Es, en definitiva, es una aplicación Web basada en el estándar J2EE¹⁴ [12].

El SIGLE está dividido en siete subsistemas, pero en este trabajo se considerarán únicamente los subsistemas de Abastecimiento y Mantenimiento.

3.3.2 Análisis de datos

A partir de los datos recogidos, se ha realizado el análisis cuantitativo con datos procedentes del histórico del mantenimiento realizado a uno de los componentes de la batería HAWK. Este aparato es el HIPIR “A”, y se ha analizado debido a que durante el periodo de las prácticas externas ha sido objeto de un mayor número de operaciones de mantenimiento, por lo que se ha considerado como elemento más crítico. Se ha acotado así el estudio, aunque se podría extrapolar a los diferentes aparatos de la Bía. En el Anexo X se recogen los resultados completos de dicho análisis. En particular, se han identificado aquellas cinco averías que se consideran más críticas en base a los criterios que aparecen en la Tabla 3.2:

Tipo de avería	Top 5: Mayor tiempo promedio de reparación	Top 5: Mayor frecuencia de aparición	Top 5: Mayor tiempo (máximo) de reparación	Top 5: Mayor desviación en el tiempo promedio de reparación
Fallo tarjeta	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Se enciende luz del colector low flow	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pintura		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Calibración		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

¹⁴ J2EE es una plataforma para el cómputo empresarial a partir de la cual es posible el desarrollo profesional de aplicaciones empresariales distribuidas sobre una arquitectura multicapa, que son escritas con el lenguaje de programación Java y son ejecutadas desde un servidor de aplicaciones [19].

Cambio de neumáticos	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
Sanear cabina del refrigerante	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
Funda rota	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>
Falla prueba de la TCU		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Tabla 3.2 Resumen de las tablas del Anexo X
Fuente: Elaboración propia

Las contempladas en la Tabla 3.2 son las averías más recurrentes que se resumen en el Anexo X, es decir, las que son de mayor interés para intentar evitar o corregir. Por otra parte, en este Anexo X se pueden ver todas las averías sufridas por el iluminador HIPIR “A” desde 2008. El resultado de su estudio ha sido que la avería más frecuente es el cambio de pintura, pero todas estas reparaciones se realizaron en el año 2017, mientras se encontraba el aparato en la “Nave PIP”.

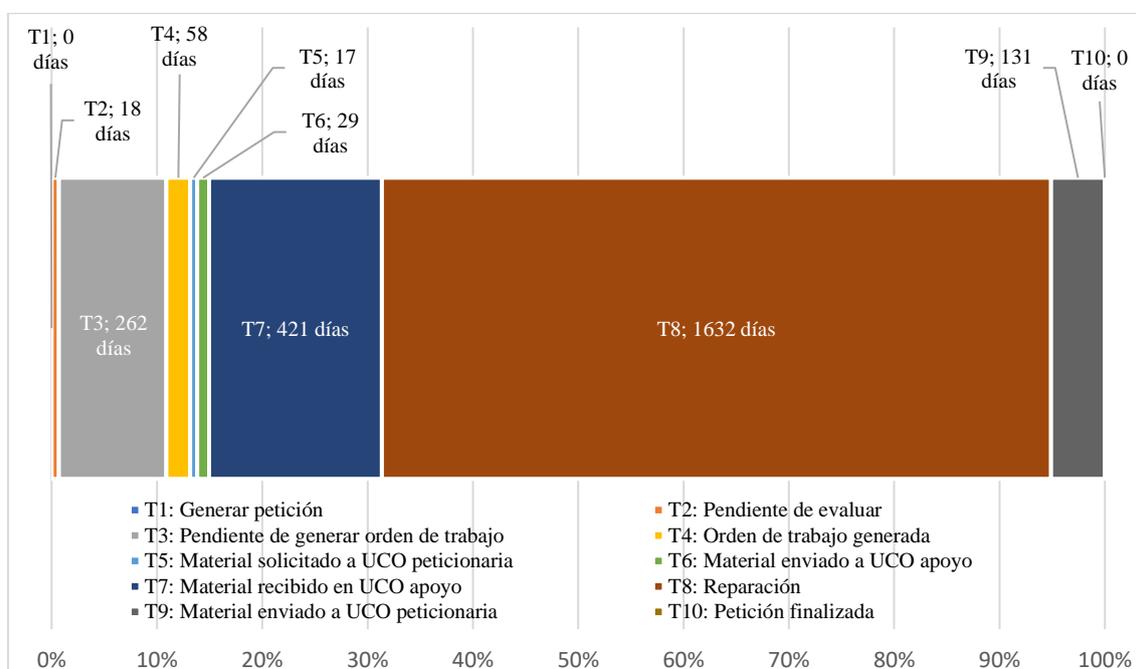


Figura 3.4 Distribución del tiempo invertido en la reparación
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.4 se puede observar la distribución de los tiempos invertidos en la reparación.

Como puede observarse, la mayor parte del tiempo (concretamente 1.632 días o un 63,80 % del tiempo total de mantenimiento) se invierte en las tareas de reparación como tal, independientemente del escalón de mantenimiento. También es reseñable que el 13,88% del tiempo se invierte en tareas administrativas lo cual es un porcentaje bastante alto considerando la gran cantidad de días totales que supone ese tanto por ciento (355 días).

La Tabla 3.3 muestra la cantidad de peticiones de mantenimiento resueltas por cada uno de los escalones de mantenimiento, siendo el 2º escalón el que más peticiones resuelve. De igual forma también se puede observar el coste total invertido en cada

escalón, siendo el 4° el que más recursos consume. Desde el punto de vista económico queda claro que habría que aumentar los esfuerzos de mejora en el 4° escalón, pero al ser el mantenimiento del sistema lo que concierne este trabajo, es el 2° escalón en el que hay que centrarse.

ESCALONES	AVERÍAS RESUELTAS	COSTES TOTALES	COSTE POR REPARACIÓN
1	14		
2	60	20067,3	334,46
3	27	21264,83	787,59
4	24	45119,71	1879,99
Total general	125	86451,84	691,61

Tabla 3.3 Relación entre escalones y sus costes
Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Conclusión del análisis

Una vez extraídos los datos y visualizándolos en conjunto, se puede llegar a la conclusión de que, para mejorar significativamente la situación de la sección de mantenimiento actual, así como su trabajo, se pueden focalizar esfuerzos en distintos aspectos. Según los análisis independientes realizados sobre frecuencia y tiempo invertido en las averías, distribución interna de los tiempos de reparación y costes unitarios asociados a cada escalón de mantenimiento aparecen varios puntos que deben ser claros objetos de mejora, estos son (ideas kaizen):

- Disminuir coste de reparación unitaria en cuarto escalón (esto no se aborda en el trabajo dado que se consideran acciones que puedan materializarse a nivel de segundo y primer escalón).
- Centralizar esfuerzos en evitar que vuelvan a surgir las averías más frecuentes (pintura, fallo TCU (*Tactical Control Unit*, Unidad de Control Táctico), calibración, fallo tarjeta).
- Reducir el tiempo total de reparación, y en particular adecuar la distribución del tiempo total de reparación, centrandose esfuerzos en disminuir los tiempos dedicados a tareas administrativas como son T1, T2, T3, T4 y T10.

3.4 Mejorar

En este punto de la metodología DMAIC se va a proceder a proponer medidas de mejora en base a cuatro diferentes aspectos que se han considerado en las fases previas. Estos son:

- Mejoras en el proceso en sí: propuesta de un diagrama de proceso ideal.
- Consideración del histórico de tiempos de reparación: minimización de tiempos administrativos.
- Actuación de los técnicos de mantenimiento (2° escalón): valoración de aspectos técnicos operativos.
- Costes de reparación: previsión de la demanda y obtención de repuestos.

3.4.1 Diagrama de proceso

En el apartado Medir de esta metodología se muestra el proceso detallado de las actividades a realizar cuando se detecta una avería hasta que se resuelve. Tanto ese

diagrama como el relacionado con las tareas de consulta que debe realizar el operario para identificar la avería pueden ser mejorados mediante la optimización de tiempos y la reorganización de los escalones. Concretamente se propone la digitalización de los manuales que los operarios tienen que consultar para identificar las averías (TM9 1430 2533 24P, TM9 1430 2533 12, TM9 1430 253312-1, TM9 1430 253312-2 y TM9 1430 2533 12-3 para el HIPIR). Con esta digitalización se pretende acelerar el proceso de localización, pudiendo acudir directamente a la parte de interés de los manuales con un buscador. Así el diagrama se simplificaría como aparece en la Figura 3.5:

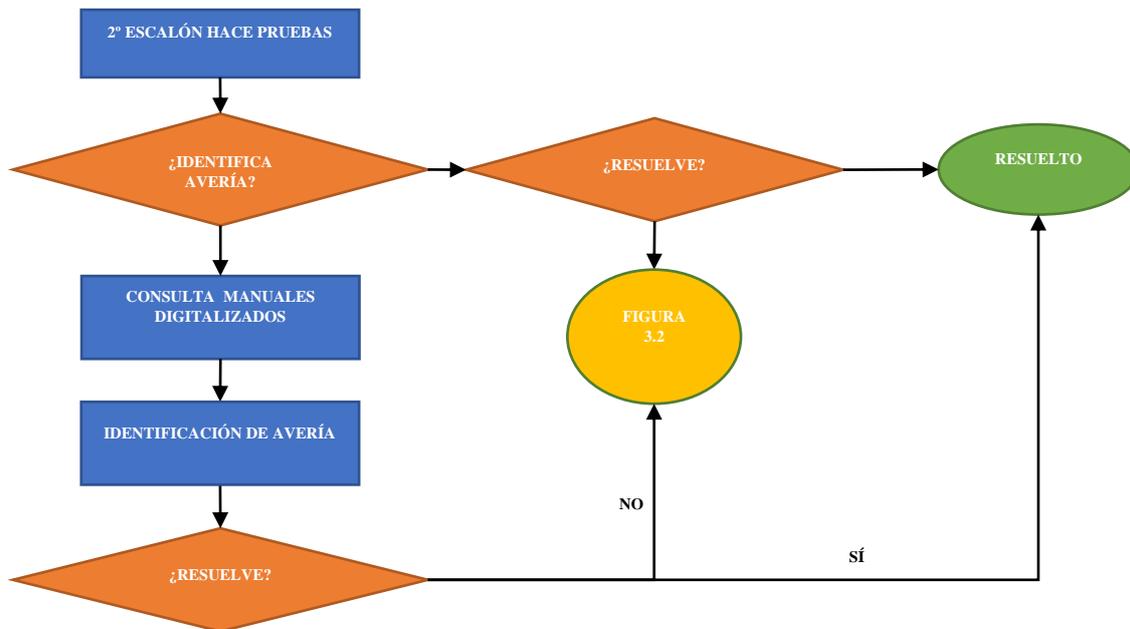


Figura 3.5 Nuevo proceso de identificación de averías
Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Tiempo de reparación

Tras el estudio realizado, queda claro que reducir los tiempos de reparación para así evitar que el aparato permanezca inoperativo. Se ha observado que se invierte demasiado tiempo en labores administrativas. Se pierden hasta 90 días (el caso estudiado como más extremo) en generar la petición de mantenimiento, evaluarla, generar a orden de trabajo, etc. Por tanto, es aquí donde se centrarán las medidas correctoras dentro de este apartado.

Se ha visto que hay ocasiones en las que pasan una media de 2 días desde que se detecta la avería hasta que se genera la petición de mantenimiento en SIGLE, o que esta se queda en un estado de “evaluación” más tiempo del considerado como adecuado. De la misma manera, una vez evaluada la petición el usuario de SIGLE debe generar la orden de trabajo, algo que debería llevarle apenas unos minutos en lugar de lo que se refleja en los datos del Anexo VII.

Durante el periodo de prácticas externas se ha presenciado el funcionamiento de esta transmisión de información, y los datos muestran que es ineficaz. Las respuestas dadas por el equipo de expertos (Anexo V) coinciden indirectamente con este problema a resolver. Debido a la escasez de personal que tiene el curso de mantenimiento del sistema HAWK, el operador del sistema SIGLE no posee los conocimientos necesarios

como para identificar el tipo de avería localizada y por lo tanto agilizar la generación de las peticiones pertinentes. De la misma forma, solo existe una persona habilitada para realizar estas peticiones, lo cual se traduce en falta de agilidad para hacerlas ya que esta persona tiene más cometidos en la unidad.

Por lo tanto, se propone como medida para solventar el problema del tiempo administrativo al alcance de 1^{er} y 2^o escalón la oferta del curso de mantenimiento a todo el personal que esté encuadrada dentro de la sección del mismo nombre y habilitar a un número de personas adecuado en el manejo de SIGLE.

En cuanto al tiempo de envío del material de la UCO peticionaria a la UCO de apoyo y viceversa, no se disponen de los datos necesarios para determinar si se ha realizado de manera errónea el proceso de envío y recepción de los aparatos. En caso de ser también fuente de error, se propone como medida correctiva un estudio de las rutas más rápidas para realizar el transporte, y el correspondiente análisis de su envío y recogida.

3.4.3 Trabajo técnico de 2º escalón de mantenimiento

Como se ha comentado antes, la Tabla 2 muestra también cuales son las averías más recurrentes en el HIPIR “A”. Estas eran fallos de tarjetas, luz encendida del colector low flow, pintura, calibración y fallo en la prueba de la TCU. Para evitar que estos fallos sigan sucediendo con tanta frecuencia se debe diseñar un plan de acción para estudiar cada uno de ellos con detenimiento y tratar de buscar un origen común a cada tipo de avería que sea la desencadenante de su repetición.

Respecto de los fallos de las tarjetas, el equipo de expertos afirma que estas son cambiadas con frecuencia y sacadas de paquetes nuevos. El problema es que en la mayoría de los casos en los que necesitan ser cambiadas es porque los circuitos no hacen buen contacto y tienen que ser enviadas al escalón para ser arregladas antes de tener que comprar nuevas. Aquí vuelve a surgir uno de los problemas del sistema que nombraban los expertos: la falta de comunicación entre escalones. Frente a esto se sugiere la medida, apoyada por el equipo de expertos, de realizar integraciones de personal¹⁵ de escalones superiores al 2º escalón de mantenimiento y viceversa para que sean capaces de entender las vicisitudes relativas a cada nivel.

En este caso, cuando el escalón superior recibe las tarjetas para ser arregladas, se limitan a comprobar el voltaje de entrada y de salida de cada uno de los chips de la tarjeta. Una vez están en orden las devuelven a la Bía. en estado operativo. La realidad es que, debido a los años del sistema, el voltaje que reciben las tarjetas en los aparatos ha cambiado ligeramente, por lo que no funcionan como debería.

La medida de mejora que se sugiere para solucionar esta frecuente avería es el estudio por parte del escalón superior del soporte de las tarjetas del aparato para conocer sus capacidades reales y conocer las verdaderas exigencias a las que las tarjetas estarán sometidas.

En cuanto a la pintura, los datos revelan que todas las operaciones realizadas en este aspecto se realizaron en la “Nave PIP” durante el año 2017. También cabe mencionar

¹⁵ Introducir personal de un escalón en el otro para que conozca sus necesidades.

que la desviación en el tiempo de reparación es de las mayores encontradas, siendo el mínimo de tiempo invertido en pintar el aparato 4 días y el máximo 204 días. Esta dispersión en los datos se debe a que cada orden de trabajo relativa a pintura se enfoca en partes concretas del iluminador, algunas con un acceso más complicado que otras. Como estas operaciones solo se pueden realizar en el interior de la “Nave PIP” por estar aislada de las condiciones meteorológicas, la propuesta de mejora es integrar todas estas órdenes de trabajo relativas a la pintura en una sola, de manera que se reduzcan los trámites administrativos a una única vez y centrar a todo el equipo de trabajo en esa tarea en lugar de dedicar a un operario a pintar una parte del aparato mientras otro se dedica a reparar otra avería distinta. Los esfuerzos se concentrarían en la misma dirección y no se entorpecerían los unos con los otros.

Al hablar de calibración hay que tener en cuenta que es un proceso necesario para tener los aparatos en perfecto estado para que realicen sus funciones con la precisión que se les exige. No se trata de una avería como tal, sino de algo que hay que hacer cada cierto tiempo y es cometido normalmente del 2º escalón. Sin embargo, aquí aparece otro problema de los sugeridos por el equipo de expertos. Estas calibraciones hay que hacerlas siempre tras largos desplazamientos sobre ruedas de los aparatos, y es debido a que los movimientos bruscos normalmente producen desajustes en los cables de los indicadores que influyen directamente en la calibración. Frente a esto se propone la mejora del sistema de suspensión para evitar que estos movimientos se transmitan de las ruedas al aparato. Para ello se debería hacer un estudio en profundidad de las condiciones actuales de los remolques y comprobar la viabilidad que tienen para cumplir o no con lo que el iluminador requiere.

3.4.4 Costes de reparación

La Tabla 3.3 muestra el dinero invertido en reparaciones por los cuatro escalones de mantenimiento desde 2008, año con el que comienza el estudio. Así mismo, en el Anexo VII se pueden ver los costes tanto previstos como reales de cada avería sufrida por el HIPIR “A”.

Con estos datos, sería de especial interés tratar de reducir el elevado coste unitario por reparación en 4º escalón, lo que se escapa de este TFG dado que se centra en 1º y 2º escalón. Otros motivos por no abarcar este problema es que ese alto coste es debido, en gran parte de las ocasiones, a la necesidad de adquirir piezas nuevas para el aparato lo cual es un problema porque hay escasez de repuestos del mismo y las compras se realizan al por menor y tras años de la fabricación del sistema. Esta puntualidad de la necesidad de repuestos tan específicos hace que los precios aumenten considerablemente.

Sin embargo, se observa un problema común a todos los escalones en el ámbito económico. Este es que los costes previstos, por lo general, distan mucho de los costes reales. En este aspecto, se podría mejorar la previsión de estos costes que se desglosan en costes materiales, recursos humanos y recursos técnicos. Al aproximar la predicción a la realidad se conseguiría evitar sobrecostes inesperados debidos a imprevistos tanto técnicos como de mano de obra. La medida que se propone ante este fallo del sistema no es otra que la realización de estudios en profundidad de la avería que se pretende solventar, para así encontrar la manera más económica de solucionarla y acercar lo máximo posible la previsión a la verdad. Por tanto, no solo el histórico de tiempos y

averías debe ser un input al análisis, sino también el análisis de costes asociados a cada una, información que serviría como lecciones aprendidas para poder estimar con mayor precisión la previsión económica de las tareas de mantenimiento

También es de destacar que la mayor parte de las averías son resueltas por el 2º escalón, concretamente un 48% del total. Este es un importante indicativo de la relevancia del escalón y de la necesidad de optimizar sus gastos para la resolución de averías. Para ello se propone la realización de un estudio que determine si sería conveniente incluir una impresora 3D en el segundo escalón, ya que la existente actualmente en el acuartelamiento “Cortijo de Buenavista” pertenece a la UR III/74 y su disponibilidad es limitada. Según la opinión del equipo de expertos, esta herramienta puede llegar a ser de gran relevancia para el escalón, ya que en caso de necesidad de alguna pieza concreta se podría fabricar dentro de sus propias instalaciones en lugar de esperar a que 4º escalón pueda fabricarla o comprarla a empresas privadas produciendo así un importante ahorro temporal y económico. El problema de la máquina que posee la UR es que solamente es capaz de imprimir en plástico de diferentes durezas y no podrían obtenerse repuestos que tuvieran algún tipo de requerimiento mecánico u operativo más exigente. Habría que analizar la posibilidad de integrar en el proceso una impresora, capaz de trabajar con otros materiales (papel, areniscas, nailon, metales, etc.)

3.4.5 Resumen de medidas sugeridas

A continuación, se muestra en la Tabla 3.4 un resumen de las medidas sugeridas para realizar las mejoras a los fallos hallados en el sistema de mantenimiento, clasificándolas por categorías, prioridad, plazo de aplicación y responsabilidad.

MEDIDA PROPUESTA	CATEGORÍA	RESPONSABLE	PRIORIDAD	PLAZO DE APLICACIÓN
Digitalizar los manuales de identificación de avería de los aparatos.	Tiempos. Cambio de procedimiento.	2º escalón	Media	Medio plazo
Proponer una mayor oferta del curso de mantenimiento y aumentar el número de personas habilitadas en SIGLE.	Tiempos.	Escalón superior	Alta	Corto plazo
Estudiar rutas más rápidas para transporte a UCO de apoyo y análisis del proceso de envío y recepción.	Tiempos. Cambio de procedimiento.	Escalón superior	Baja	Largo plazo
Realizar integraciones de personal de escalones superiores al 2º escalón y viceversa.	Evitar repetición de averías. Cambio de procedimiento.	2º escalón y superiores	Media	Medio plazo
Estudio por parte del escalón superior del soporte de las tarjetas.	Evitar repetición de averías. Cambio de procedimiento.	Escalón superior	Media	Medio plazo
Integrar las órdenes de trabajo comunes de pintura en una sola.	Evitar repetición de averías. SIGLE.	2º escalón	Alta	Corto plazo

Mejorar el sistema de suspensión de los remolques.	Evitar repetición de averías. Cambio en la instalación.	2º escalón	Baja	Largo plazo
Estudiar en profundidad la avería que se pretende solventar, para acercarse a la previsión a la verdad.	Costes. Cambio de procedimiento.	2º escalón	Media	Medio plazo
Estudiar la viabilidad de incorporación de una nueva impresora 3D al 2º escalón.	Costes. Cambio de procedimiento. Modernización de instalaciones.	2º escalón	Media	Medio plazo

Tabla 3.4 Resumen de las medidas de mejora sugeridas

Fuente: Elaboración propia

3.5 Controlar

La fase final de controlar consideraría los resultados obtenidos tras la implementación de las propuestas de mejora, recomendablemente en una fase piloto. Según los plazos de aplicación o implementación sugeridos en el apartado anterior, dado que este TFG no abarca dichas fases, en este apartado se establece una propuesta de seguimiento y control que incluye la aplicación de estas mejoras sugeridas, y la verificación de que los resultados obtenidos realmente sirven para eliminar los fallos identificados durante el proyecto.

3.5.1 Implementación a corto plazo

Las medidas clasificadas como “corto plazo” son aquellas cuya implantación es sencilla y su prioridad es alta. Es el caso de la oferta del curso de mantenimiento y habilitar más usuarios en SIGLE. La implantación de esta medida es sencilla pues solo debe hacerse una convocatoria más amplia y establecer obligatoriedad al personal encuadrado en las secciones de mantenimiento. De igual forma, habilitar a más usuarios de SIGLE necesita un curso breve que fácilmente puede ser impartido por el personal que ya dispone de él. El control se realizará mediante comprobaciones mensuales de que se imparten ambos cursos con la realización de un examen final que habilita a los implicados en sus nuevas aptitudes.

Por otra parte, la integración de órdenes de trabajo comunes en una sola se soluciona mediante una mayor instrucción y experiencia por el equipo de mantenimiento y por el usuario de SIGLE, que debe entender que con una sola petición es suficiente. La aplicación de esta medida se controlará mediante el control trimestral de las peticiones realizadas en SIGLE, donde se comprobará que no vuelve a suceder el fallo hallado anteriormente.

3.5.2 Implementación a medio plazo

En este caso, se han clasificado como “medio plazo” aquellas medidas cuya dificultad de implantación y prioridad es media. Ejemplo de esto sería la medida propuesta de realizar la digitalización de los manuales de los aparatos para reducir el tiempo invertido en identificar las averías. Para realizarlo habrá que elaborar un análisis de costes para realizar la inversión inicial que esto supone. Cuando se haya consumado este proceso, se establecerán medidas de control que supervisen el correcto uso de los nuevos manuales y comprueben que se produce un ahorro de tiempo significativo para los técnicos.

Para integrar personal de escalones superiores al 2º escalón y viceversa se realizaría un plan que fijará las fechas y las personas implicadas, así como las actividades a realizar en los escalones de destino a los que se dirigieran. El control se realizará mediante el cumplimiento de dichas listas, que abarcarán un periodo de seis meses para asegurar el correcto entendimiento entre escalones.

Por otro lado, el estudio por parte del escalón superior del soporte de las tarjetas del iluminador se realizaría mediante la presentación por el responsable designado de un plan del proyecto con fechas fijadas en las que se establecerán entregables para llevar el control de en qué fase se encuentra el estudio y las soluciones posibles.

Para estudiar en profundidad las averías y acercar la previsión de costes a la realidad se propone consultar el historial de SIGLE de la unidad o de otras unidades que posean los mismos sistemas de armas y comprobar si hay peticiones similares. A partir de los gastos que se obtengan y de consultas a empresas sobre los precios de piezas nuevas en su caso o consulta a unidades experimentadas sobre los recursos humanos necesarios para solventar la avería, se realizará una aproximación final del coste. Esto se controlará periódicamente analizando la diferencia entre estos dos costes y comprobando que la diferencia entre ambos datos se ha reducido.

En el caso de incluir una nueva impresora 3D en el escalón, se realizaría un estudio que determine la viabilidad de su adquisición y en caso de ser positivo, se realizaría un análisis de aquellos componentes que no podría imprimir debido a que algunos de ellos podrían llegar a romper por su función mecánica. En su caso, se designará personal para recibir formación acerca de ella y mediante una serie de pruebas que demuestren que están capacitados se controlará su formación. De la misma manera, semestralmente se comprobará si se ha aumentado la producción de piezas con esta máquina, y se extraerán conclusiones.

3.5.3 Implementación a largo plazo

En el periodo de tiempo definido como “largo plazo” se han clasificado las medidas cuya dificultad de implantación es alta y cuya prioridad es baja. En esta situación está el estudio de las rutas óptimas para el transporte de los aparatos a UCO de apoyo y análisis del proceso de envío y recepción. La mejora de esta situación va de la mano de estandarizar los procesos de entrega y recogida de los aparatos, así como la optimización de las rutas de transporte. Una vez realizadas ambas cosas el proceso se controlaría mediante la comparación de los días invertidos antes y después de la aplicación de las medidas. Esto se hará en un periodo superior a los doce meses de la aplicación de las mejoras, para así tener datos suficientes con los que realizar la comparación.

Por otra parte, para mejorar el sistema de suspensión de los remolques será necesario un estudio completo de las capacidades de la suspensión actual de los remolques y de las necesidades de los aparatos, para así establecer un plan de acción para realizar este cambio. El proceso de control se llevaría a cabo desde la supervisión del proyecto por una persona capacitada.

4. Conclusiones y líneas futuras

El objetivo principal del presente TFG era estudiar las deficiencias del sistema de mantenimiento del sistema de misiles HAWK y buscar posibles soluciones a estas. Tras

el análisis realizado, se han podido identificar varios problemas distribuidos en diferentes aspectos del sistema, y se han propuesto medidas de mejora a nueve de ellos.

En particular, el estudio se ha acotado en base al elemento HIPIR “A” de la primera batería debido a la gran cantidad de operaciones de mantenimiento realizadas sobre él. Para realizar este proyecto se ha utilizado la metodología Seis Sigma, junto a otros tipos de herramientas como el Project Charter o la EDT.

Estos problemas han sido encontrados tras estudiar el diagrama de proceso de identificación de averías, los datos de SIGLE relativos al historial de averías de uno de los componentes de la batería, el análisis de la gestión del tiempo de las reparaciones y el control de costes.

Gracias a este trabajo, se puede ofrecer al mando una amplia visión del sistema de mantenimiento en conjunto, así como una serie de mejoras propuestas para ser implantadas, llegando a la conclusión de que es posible la mejora del sistema modificando aspectos relativos a cada parte del proceso. Los objetivos de implantar las medidas y controlarlas planteadas en un principio se han cumplido, al menos, a nivel teórico. Sin embargo, no se ha podido llevar a cabo una prueba piloto de implementación de alguna de las soluciones propuestas, por lo que el proyecto Seis Sigma debería seguir en funcionamiento hasta ser completado en todas sus fases.

Como conclusión, se señala que dichas evoluciones propuestas podrían proporcionar al sistema de mantenimiento una importante reducción del tiempo invertido en las reparaciones, además de proporcionar vías para reducir costes y evitar la reparación de algunas de las averías más frecuentes. De esta manera se consigue mantener este sistema de misiles operativo y preparado para cumplir su misión en cualquier momento de necesidad.

Como líneas futuras, se propone la aplicación de las medidas sugeridas, así como los planes de control y seguir empleando la metodología Seis Sigma para estar continuamente mejorando el sistema hasta que este se vuelva óptimo. Por último, se propone la aplicación de otras herramientas de calidad como el método Delphi con un mayor número de expertos para tener más en consideración sus opiniones y su experiencia. Además, esta propuesta podría servir de base para métodos de decisión multicriterio (p. ej. *Analytic Hierarchy Process*, AHP).

5. Referencias bibliográficas

- [1] Á. P. Zaforteza, “Norma general 03/13 subsistema de mantenimiento,” 2018.
- [2] F. T. Ejército de Tierra, “Libro del oficial táctico curso mando táctico SAM-HAWK,” 2008.
- [3] MADOC, “PD4-300 Mando de adiestramiento y doctrina.,” 2016.
- [4] “Sistema de misiles HAWK,” 2019. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/MIM-23_Hawk.
- [5] MAAA, “Ministerio de defensa 5051.,” pp. 12203–12204, 2004.
- [6] Raytheon, “Raytheon Corporation.” [Online]. Available: <https://www.raytheon.com/capabilities/missiledefense>.

- [7] D. L. Lobe, “Anexos sobre Seis Sigma. Proyecto fin de carrera.,” 2011.
- [8] R. Acero, J. Pastor, J. Sancho, and M. Torralba, *Ingeniería de la Calidad.*, Centro Uni. 2012.
- [9] AALOG11, “Pliego de prescripciones técnicas lotes nº 1, 2, 3 Y 4,” vol. 67, p. 36, 2018.
- [10] T. C. L. Ruiz López and S. Aguado Jiménez, “Sesión 2, 3, 4 - LOGÍSTICA DE LA DEFENSA,” 2017.
- [11] MINISDEF, “Manual de instrucción. Sirvientes del radar de seguimiento de onda continua (HIPIR) AN/MPQ-61,” 2005.
- [12] MALE, “Cuartel general del ejército mando de apoyo logístico del ejército sección de sistemas de información,” p. 39.
- [13] MINISDEF, “Estructura ejército de tierra,” 2019. [Online]. Available: <http://www.ejercito.mde.es/estructura/index.html>.
- [14] MINISDEF, “Estructura fuerza terrestre,” 2019. [Online]. Available: <http://www.ejercito.mde.es/estructura/2019/futer.html>.
- [15] MINISDEF, “Estructura mando de artillería antiaérea,” 2019. [Online]. Available: <http://www.ejercito.mde.es/estructura/2019/maaa.html>.
- [16] MADOC, “PD4-319 Empleo Táctico FDC/COAAAS-M,” 2013.
- [17] MADOC, *Manual de instrucción. Sirvientes del radar de adquisición de impulsos (PAR) AN/MPQ-50 (XO-2).* 2004.
- [18] MADOC, “Sirvientes del radar de adquisición de onda continua (CWAR) AN/MPQ-62 (MI6-329),” 2004.
- [19] “J2EE Information,” 2019. [Online]. Available: <http://formatalent.com/que-es-j2ee/>.
- [20] “Estructura batería HAWK,” 2019. [Online]. Available: https://www.google.com/search?safe=active&biw=1707&bih=821&tbm=isch&sxsrif=ACYBGNRvIkDUp-6r9WFX_AzZ_wLoEl3ERA%3A1568997542681&sa=1&ei=pgCFXcSXXbKflwSlw5WIBw&q=estructura+misiles+hawk&oq=estructura+misiles+hawk&gs_l=img.3...3964.4834..4936...0.0..0.133.678.

ANEXOS

ANEXO I. PROJECT CHARTER

PROJECT CHARTER			TFG		
Título: Proyecto Seis Sigma para la mejora del mantenimiento en el sistema HAWK			Fecha: 01/09/2019		
Project Leader: CAC Jesús Valero Gutiérrez			Localización: San Roque, Cádiz.		
Recursos de personal: Jefe de la sección de fuegos de la 1ª Batería y su personal (20-30 personas), Jefe de la sección de mantenimiento de la 1ª Batería y su personal (5-10 personas).					
Equipo de proyecto: CAC Valero (PM), Tte Lillo (PC), Equipo de expertos (Tte Lillo, Brig García, Sgto 1º Sout, Sgto 1º Caro).					
Stakeholders: Usuarios del sistema de misiles HAWK, 2º Escalón de mantenimiento, Mandos de la unidad, Jefe del RAAA 74, MAAA.					
Descripción general del proyecto:					
Análisis Seis sigma para la mejora del mantenimiento en el sistema de misiles HAWK, mediante la identificación de fallos durante el mismo y la propuesta y aplicación de posibles soluciones.					
Motivación:					
Debido a la antigüedad del sistema de misiles HAWK y a la notable importancia de sus funciones en el cometido general de la defensa del espacio aéreo español, es necesario que este sistema disponga de un notable nivel de mantenimiento. Para mantener operativo el material su estado debe de ser óptimo y es por ello por lo que hay que buscar una mejora continua en el mantenimiento que se le aplica. Por esta razón se considera necesario un estudio en profundidad sobre el sistema actual implicado en la conservación y cuidado de los aparatos a través de un análisis Seis Sigma.					
Objetivos y requisitos del proyecto:					
El análisis en cuestión debe identificar y definir los errores principales y más comunes del mantenimiento del sistema HAWK, a partir de las sugerencias de los mismos usuarios que lo operan. Utilizar los datos obtenidos para medir la gravedad de las deficiencias identificadas y establecer un punto de partidas para solucionar dichos problemas. Identificar la causa raíz de los fallos, cuantificarlos y verificar sus orígenes. Generar varias soluciones posibles y, mediante el análisis y estudio de cada una de ellas, elegir la óptima para su posterior implementación. Una vez implementada las medidas, generar un plan de seguimiento y control para verificar que se la medida tomada cumple con su propósito.					
Entregables e hitos:		Fecha inicio	Fecha fin	Fecha inicio	Fecha fin
Proyecto:		01/09/2019	01/11/2019		25/10/2019
M1	Definir: Identificación y definición de los fallos.		15/09/2019	M4 Mejorar: Generar soluciones y elegir la más adecuada.	
M2	Medir: Medición de la gravedad de las deficiencias.		30/09/2019		
M3	Analizar: Cuantificar los defectos e identificar raíz.		07/10/2019		
Riesgos de alto nivel:				M5 Control: Generar un plan de seguimiento y control.	01/11/2019
Empeoramiento del mantenimiento del material por introducir medidas a las que el personal no está acostumbrado, no conseguir un conocimiento pleno del sistema como para introducir medidas adecuadas, el control y el seguimiento demuestren que no ha habido mejoras, rotura del material por pérdida de calidad del mantenimiento.					

ANEXO II. SITUACIÓN DEL GAAA I/74 DENTRO DEL ET

El Ejército de Tierra (ET) español está organizado de una forma muy concreta. El Jefe del Estado Mayor del Ejército (JEME) es la máxima autoridad del mismo y, junto a su gabinete, organiza y manda todo el ET que está dividido en Cuartel General del Ejército, la Fuerza y el Apoyo a la Fuerza.



Figura II 0.1 Organigrama ET
Fuente: Página Web ET [13]

La fuerza, a su vez, se divide en el Cuartel General Terrestre de Alta Disponibilidad (CGTAD), la Fuerza Terrestre (FUTER), el Mando de Canarias (MACANA) y la Fuerza Logística Operativa (FLO). Es en FUTER donde encontramos el Mando de artillería Antiaérea (MAAA) dentro del cual se encuentra la unidad de interés en cuestión.

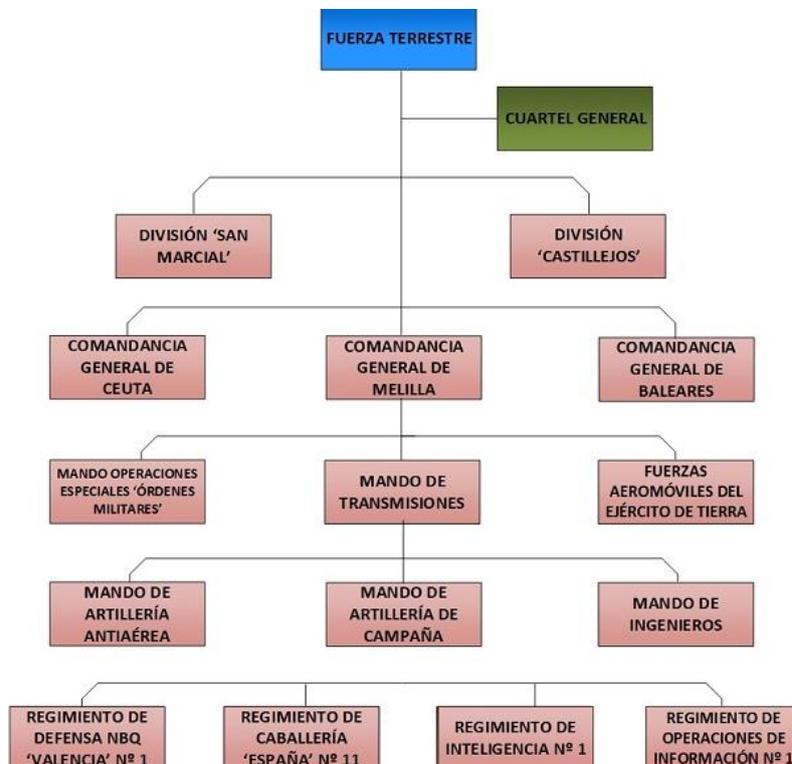


Figura II.0.2 Organigrama FUTER
Fuente: Página Web ET [14]

La investigación necesaria para llevar a cabo este trabajo se ha realizado en el Regimiento de Artillería Antiaérea (RAAA) 74, concretamente el Grupo de Artillería Antiaérea (GAAA) I/74.

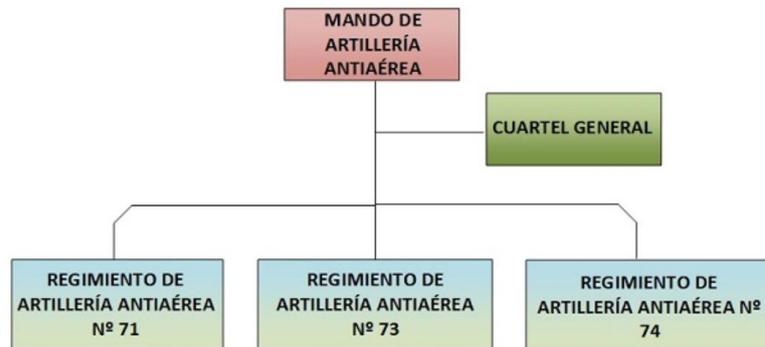


Figura II.0.3 Organigrama MAAA
Fuente: Página Web ET [15]

Actualmente el RAAA 74 se encuentra dividido entre el Acuartelamiento El Copero, Dos Hermanas (Sevilla) donde están la Plana Mayor de Mando (PLMM) y el Grupo HAWK (*Homing All the Way Killer*) II/74; y el Acuartelamiento Cortijo de Buenavista, San Roque (Cádiz) donde están el Grupo HAWK I/74 y la Unidad de Reparaciones (UR) III/74.

ANEXO III. COMPOSICIÓN Y FUNDAMENTOS DE UNA UDAA

La composición de las UDAA [16] dependerá del cometido asignado y la situación táctica, incluyendo factores tales como el grado de protección a proporcionar, la amenaza aérea estimada o las características de la fuerza o elemento a defender.

La UDAA es la unidad fundamental de empleo de la AAA; en la que se ven materializados los principios de la defensa antiaérea. Se organiza sobre la base de una unidad orgánica de AAA a la que se incorporan o detraen módulos de capacidades de mando y control, de fuego, apoyo logístico, protección a la fuerza, etc., para generar la organización operativa que se requiere. Cuentan con todos los medios necesarios para cumplir su misión.

La generación de las UDAA se basa en el concepto de empleo modular. En general, una UDAA se compone de tres núcleos diferenciados:

- Núcleo de Mando y Control, el cual dispondrá normalmente de:
 - Un centro de información y operaciones (CIO) desde donde se planean, coordinan y dirigen las actividades de la UDAA que no supongan la conducción de la batalla aérea en tiempo real.
 - Un FDC, desde donde se ejerce el control táctico de las armas y de los fuegos en el marco de la gestión integrada en la batalla aérea.
 - Un centro de personal y logística (CPL), desde donde se planean, coordinan y dirigen las actividades relacionadas con el apoyo logístico de la UDAA.
- Núcleo de Fuego, el cual está compuesto por un número variable de unidades de tiro o unidades de fuego, de uno o varios sistemas de armas, posibilitando así la aplicación de los principios y fundamentos de la defensa antiaérea. El análisis de la misión y de los factores de la situación determinará el número y tipo de unidades de fuego o de tiro a emplear.
- Núcleo de Apoyo Logístico, el cual es creado sobre la base de la unidad de servicios de la unidad orgánica sobre la que se genere la UDAA. Dispone, normalmente, de los apoyos logísticos generales no específicos de los sistemas de armas antiaéreos. En este núcleo se integrarán igualmente los elementos logísticos específicos de los sistemas que conforman el núcleo de fuego y el núcleo de mando y control de la UDAA.

Cada uno de estos núcleos se constituye sobre la base de unos módulos de capacidades, basados en unidades orgánicas, que son los que permitirán configurar una estructura *ad hoc*, adaptada a los requerimientos tácticos específicos de la misión que la UDAA vaya a cumplir.

El jefe de la UDAA debe asegurar la supervivencia de su unidad frente a ataques terrestres de tipo convencional, NBQ (Nuclear-Biológico-Químico), de fuerzas que desarrollen actividades irregulares, etc., minimizando los efectos de dichos ataques y

asegurando en todo momento el mantenimiento de la capacidad de combate de la UDAA y la recuperación de la misma.

Dependiendo de los medios disponibles, el jefe de la UDAA podrá decidir emplear los medios de protección de la fuerza reunidos en un solo núcleo, diferenciado de los anteriores, o bien emplearlos distribuidos de los tres núcleos, siendo cada núcleo responsable de su propia protección.

Finalmente, la UDAA se puede constituir sobre la base de unidades orgánicas de cualquier entidad:

- Sobre la base de un grupo de AAA
- Sobre la base de una batería de AAA
- De nivel inferior a batería

Todas ellas deberán contar con los medios de mando y control y enlace necesarios para integrar los distintos sistemas de armas que la constituyen e integrarse, a su vez, en la estructura de mando de la defensa aérea y, en su caso, de la organización operativa de la que dependa. Excepcionalmente, en determinadas circunstancias tácticas, se podrá constituir una UDAA sobre la base de una unidad inferior a batería debidamente reforzada con los medios de mando, control y logísticos necesarios.

ANEXO IV. PRINCIPIOS DE LA DEFENSA ANTIAÉREA

PRINCIPIO DE MASA

Supone la concentración de la capacidad de combate antiaéreo, además de los componentes moral e intelectual de la capacidad de combate de cualquier fuerza. Se cumple el principio de masa al concentrar, en un tiempo reducido, un número adecuado de proyectiles o misiles sobre la amenaza aérea (*masa de fuego*), capaz de oponerse con eficacia a los ataques aéreos de todo tipo de plataformas. Para ello hay que situar alrededor del objetivo a defender un número suficiente de medios (*masa de armas*), adecuados para su defensa eficaz.

Nace de la necesidad de disponer de manera permanente de los medios suficientes para garantizar la supervivencia de los elementos a proteger. Si se tienen en cuenta las características de la amenaza aérea (actuación imprevisible en cuanto a objetivo a atacar, momento y dirección de ataque, etc.), de los objetivos defendidos (características, movilidad, etc.) y de los propios medios antiaéreos (frecuente disminución de la capacidad operativa por necesidad de modificar el despliegue, necesidades de mantenimiento, etc.), se deduce que la disponibilidad de una capacidad de respuesta permanente supone que los medios necesarios resulten siempre superiores a las previsiones iniciales.

La aplicación correcta del principio de masa conduce a que los medios antiaéreos, habitualmente escasos, sean atribuidos en cantidad suficiente a la protección antiaérea de los objetivos que tienen mayor importancia para el desarrollo de la operación o para el cumplimiento de la finalidad general de la defensa aérea. Dichos objetivos aparecerán en la lista priorizada de objetivos a defender (PDAL: *Prioritized defended assets list*).

Este principio debe aplicarse siempre a la defensa de cada objetivo seleccionado y en relación con la amenaza esperada en cada caso.

Del cumplimiento del principio de masa se derivan las siguientes ventajas operativas:

- **Disuasión:** la acumulación de medios antiaéreos puede inducir al enemigo a no llevar a efecto el ataque aéreo, pues en caso de realizarlo sufriría un desgaste (grado de atrición) inasumible¹⁶.
- **Múltiples orígenes de fuegos:** la posibilidad de generar múltiples orígenes de fuego y con diferentes direcciones sobre una incursión aérea, dificulta el planeamiento del ataque e incrementa en gran medida la probabilidad de su derribo.
- **Efecto masa:** la eficacia operativa de un número determinado de unidades de tiro, ya sea medida en volumen de acción eficaz cubierto, probabilidad de derribo u otro índice, es siempre superior a la suma de cada una de las eficacias individualizadas.

¹⁶ Relacionado con este concepto se encuentra el término *Attrition rate*, definido como el grado de desgaste que está dispuesto a asumir el enemigo al enfrentar sus medios contra una determinada defensa antiaérea.

PRINCIPIO DE ARMAS COMPLEMENTARIAS

Implica emplear una combinación de sensores (radares, infrarrojos, TV, etc.) y medios productores de fuego¹⁷ (misiles radáricos, misiles IR, cañones, etc.) de diferentes capacidades, de forma que las posibilidades de uno compensen las limitaciones de otro.

Son múltiples los parámetros en cuanto a capacidades operativas y características técnicas de los sistemas de armas antiaéreos que pueden definir su mayor o menor grado de complementariedad. Entre las primeras estarían el volumen de acción (alcances, alturas máxima y mínima y zonas muertas), la eficacia frente a cada tipo de amenaza, las posibilidades de actuación todo tiempo y en ambiente de guerra electrónica, etc. Entre las segundas, el sistema de detección, el sistema de adquisición, el sistema de guía, el tipo de trayectorias utilizadas, etc.

Su empleo obliga al enemigo a diversificar sus tácticas de actuación, ya que las desarrolladas contra un sistema de armas específico pueden hacerle más vulnerable contra otro sistema. Con el empleo conjunto de artillería antiaérea y fuerzas aéreas también puede conseguirse el principio de armas complementarias, y ello por su alto grado de complementariedad en cuanto a tecnología y capacidades operativas. Es decir, con la aplicación del principio de integración.

En conclusión, de la correcta aplicación del principio de armas complementarias se derivan las siguientes ventajas para la defensa:

- Mayor dificultad para la amenaza aérea en el planeamiento, ejecución y coordinación de los ataques aéreos.
- Incremento de la eficacia de la defensa aérea frente a todo el espectro de la amenaza.
- La eficiencia logística, en cuanto al municionamiento se refiere, al emplear menos munición, ya que la eficacia operativa de la defensa es mayor que si solo existe un sistema de armas.

PRINCIPIO DE MOVILIDAD

El principio de movilidad hace referencia tanto a la movilidad estratégica u operacional como a la táctica.

En el primer caso, los sistemas de armas de AAA deben poder proyectarse por medios aéreos, navales o terrestres, para la protección de los objetivos de interés estratégico u operacional seleccionados. Evidentemente, dependerá de las capacidades de esos medios de proyección.

La movilidad táctica es la capacidad operativa de las unidades de AAA para desplazarse sobre el terreno, conservando la capacidad de cumplir su misión y posibilitando a sus sistemas de armas la ocupación de los asentamientos más adecuados para ello. Esta movilidad es fundamental para la supervivencia de las unidades de defensa antiaérea. Debe ser acorde a la de los objetivos protegidos y está directamente relacionada con las capacidades y limitaciones de los propios sistemas de armas.

¹⁷ *Efectors* en terminología OTAN.

La movilidad es fundamental en los sistemas de artillería antiaérea para:

- Ocupar en cada momento los mejores asentamientos, con independencia de las dificultades del terreno.
- Seguir en su movimiento a los objetivos protegidos, dando continuidad a la defensa. Este movimiento no debe entenderse como el desplazamiento simultáneo con el objetivo protegido, sino el desplazamiento que permita cumplir la misión o cometido de forma continua y eficaz.
- Adaptar su despliegue a los cambios de cometido y de objetivo a defender.
- Mejorar su capacidad de supervivencia ocupando asentamientos alternativos de forma rápida y sencilla.

La aplicación del principio de movilidad exige que los sistemas de armas tengan una movilidad adecuada a la misión que deben cumplir y condicionada por la movilidad de los elementos protegidos. Como ya se ha mencionado, esa continuidad no implica movimiento físico simultáneo del sistema de armas.

Son múltiples los factores inherentes a los sistemas de armas que condicionan su movilidad. Entre ellos se pueden destacar los tiempos de entrada y salida de posición (dados por las características del sistema y el adiestramiento de la unidad), el grado en que los diferentes subsistemas que conforman el sistema de armas se hallan integrados en él, su ligereza, el sistema de transporte, servidumbres logísticas, etc.

PRINCIPIO DE INTEGRACIÓN

Por medio del principio de integración se garantiza que la acción de la defensa antiaérea se aplica según los propósitos del mando, defendiendo los objetivos prioritarios fijados por este. Por ello la integración debe llevarse a cabo desde los primeros momentos del planeamiento y durante la fase de conducción de las operaciones. Permite que el conjunto de personal y medios que intervienen en las actividades de defensa antiaérea actúen de forma coordinada, sincronizada y coherente. Es la aplicación a la defensa antiaérea del principio de integración de la defensa aérea.

La integración comprende las actividades, medios y procedimientos encaminados a sincronizar y coordinar las operaciones militares en todos sus niveles, tanto vertical como horizontalmente.

La integración implica unidad de doctrina, unidad de esfuerzo y medios técnicos que permitan alcanzar la máxima eficacia operativa del conjunto de órganos y elementos del sistema de DA, a la vez que se reducen las interferencias entre ellos. Simultáneamente, las operaciones de defensa antiaérea deben estar integradas con las de la organización operativa apoyada o con el objetivo protegido.

La integración se aplica, simultáneamente, en los siguientes ámbitos:

- Entre los diferentes sistemas de armas de AAA que actúan reunidos constituyendo una organización operativa de defensa antiaérea para el cumplimiento de un cometido antiaéreo.

- Con la organización operativa terrestre a la que pertenece, sincronizándose con las funciones de combate en el concepto de la operación. Con ello se garantiza que la protección antiaérea se aplica según el propósito del mando.
- Con el sistema de defensa aérea y el sistema de control del espacio aéreo. La integración en este ámbito se aplica independientemente de la modalidad de mando operativa establecida entre la unidad de defensa antiaérea y el elemento o unidad protegida.

El plan de defensa aérea (ADP) publicado por el jefe de la defensa aérea establecerá, en cada caso, la integración ascendente, descendente y colateral de todos los sistemas de defensa aérea existentes en el campo de batalla, lo mismo para operaciones conjuntas que conjunto/combinadas, y debe incluir todos los medios de AD.

Permite alcanzar la máxima eficacia operativa de cada uno de los órganos y elementos involucrados en las acciones de defensa aérea, a la vez que reduce las interferencias entre ellos.

La unidad de doctrina de las fuerzas que participan en la defensa aérea es imprescindible para alcanzar la adecuada integración. La participación de los responsables de la DAA en los procesos de planeamiento y conducción de las operaciones, en todos los niveles de mando, es otro factor fundamental para lograr dicha integración, la cual se logra independientemente del funcionamiento de los medios CIS (sistemas de información y comunicaciones) mediante el conocimiento del propósito del mando y la aplicación de la iniciativa.

Los sistemas de mando y control, que incluyen los CIS, constituyen una herramienta más para materializar la integración en todos los niveles. Los enlaces de datos tácticos son importantes para lograr el nivel de integración adecuado, en los ámbitos citados, de los sistemas de armas que componen la DAA.

ANEXO V. PREGUNTAS CUESTIONARIO

FICHA TÉCNICA DE LA ENCUESTA

Objetivo de la encuesta: Obtener información de la opinión de los expertos en la materia sobre su experiencia en el mantenimiento del sistema HAWK.

Técnica: Enviada y respondida vía email.

Ámbito geográfico: San Roque, Cádiz.

Población: Usuarios del sistema que por sus funciones son expertos diferentes aspectos de él.

Número de entrevistas: 5.

Número de respuestas: 5.

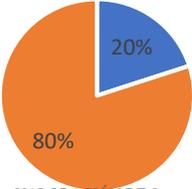
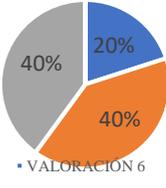
Tasa de respuesta: 100%.

Muestreo: el equipo de expertos ha sido seleccionado en base a los diferentes puntos de vista sobre el mantenimiento que ofrecen cada uno de los encuestados, la experiencia que tienen con el sistema y sus funciones en el mismo.

Fecha y lugar: Días entre 04/09/2019 y 09/09/2019 en San Roque, Cádiz.

Modo de respuesta: Debido a la complejidad del trabajo de los mandos, los diferentes puestos que ocupan y las vicisitudes de cada día en el trabajo, la recogida de información se realizó vía e-mail en vez de realizarla “cara a cara” pudiéndose obtener más rápido los resultados.

ENCUESTA

PREGUNTAS	RESPUESTAS
<p>1º Determine la importancia de un correcto mantenimiento diario del sistema de armas HAWK, siendo el 1 nada importante y el 10 esencial.</p> <p>1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>	 <p>VALORACIÓN DE 8 VALORACIÓN DE 10</p>
<p>2º Valore del 1 al 10 el sistema de mantenimiento (el sistema en sí, no el trabajo del personal ni sus limitaciones) actual utilizado en el GAAA I/74, siendo el 1 pésimo y 10 excelente.</p> <p>1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>	 <p>VALORACIÓN 6 VALORACIÓN 7 VALORACIÓN 8</p>

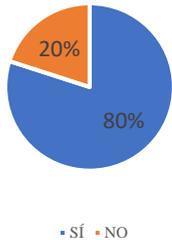
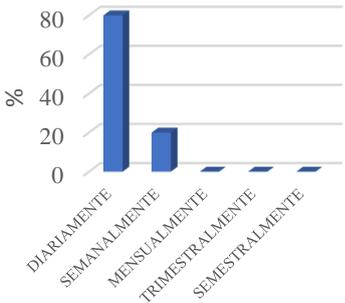
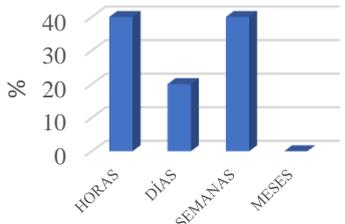
<p>3º ¿Cree usted que el sistema de mantenimiento necesita alguna mejoría? <input type="radio"/> Sí <input type="radio"/> No</p>	 <p>80% 20%</p> <p>• Sí • NO</p>
<p>4º ¿Cuál es la frecuencia de aparición de averías en los aparatos del sistema HAWK? Diario Semanal Mensual Trimestral Semestral</p>	 <p>80 60 40 20 0</p> <p>%</p> <p>DIARIAMENTE SEMANALMENTE MENSUALMENTE TRIMESTRALMENTE SEMESTRALMENTE</p>
<p>5º Determine la facilidad general de identificación de las causas de las averías, siendo 1 muy fácilmente y 10 muy complejo (correspondiendo estas a tareas de 1º y 2º escalón). 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>	 <p>20% 20% 20% 20%</p> <p>• VALORACIÓN 4 • VALORACIÓN 5 • VALORACIÓN 6 • VALORACIÓN 8 • VALORACIÓN 9</p>
<p>6º Cuando aparece una avería, ¿cuánto tiempo suelen tardar en subsanarse? (correspondiendo estas a tareas de 1º y 2º escalón). Horas Días Semanas Meses</p>	 <p>40 30 20 10 0</p> <p>%</p> <p>HORAS DÍAS SEMANAS MESES</p>
<p>7º ¿Diría usted que es de más ayuda la experiencia de los técnicos de mantenimiento en el sistema HAWK que el seguimiento de los pasos del sistema actual? <input type="radio"/> Sí <input type="radio"/> No</p>	 <p>0% 100%</p> <p>• Sí • NO</p>

Tabla VIII.5 Gráficos de las respuestas a la encuesta
 Fuente: Elaboración propia

Respuestas:

	1° experto	2° experto	3° experto	4° experto	5° experto
1°	10	10	10	10	8
2°	7	7	6	8	8
3°	Sí	Sí	Sí	No	Sí
4°	Diariamente	Diariamente	Diariamente	Semanalmente	Diariamente
5°	5	9	6	4	8
6°	Horas	Días	Semanas	Semanas	Días
7°	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Tabla VIII.6 Respuestas de los expertos
Fuente: Elaboración propia

8° Escriba cuales cree usted que son los principales problemas en el mantenimiento del sistema HAWK (falta de cumplimiento de las sesiones de mantenimiento preventivo, antigüedad del sistema, falta de repuestos, muchos manuales que consultar, periodicidad de ITVs...).

En esta pregunta cada experto ha escrito un mínimo de tres problemas cuya frecuencia, dificultad de identificación y gravedad consideran de mayor importancia. Se indica al lado de cada inconveniente el número de veces que se repite en las respuestas del equipo.

- Falta de repuestos. x5
- Falta de personal con el curso de mantenimiento. x3
- Agentes externos (climatología, animales). x2
- Antigüedad del sistema de misiles. x5
- Continuidad en el puesto (Un solo empleo) del personal de mantenimiento de 2° Escalón. x1
- Desplazamientos largos del material. x2
- Alta periodicidad de ITVs. x1
- Falta de comunicación entre UAD (3^{er} Escalón) o UR (4° Escalón) con los usuarios. x1
- No cumplimiento del tiempo necesario en la nave "PIP". x1

Análisis de las respuestas obtenidas en las 7 primeras preguntas:

- ✓ En la primera pregunta se obtiene una media de 9,6 sobre un total de 10. Esto indica que el equipo de expertos comparte opinión de que el mantenimiento diario de este sistema de misiles es muy importante para ser capaces de mantenerlo en un estado operativo aceptable para cumplir las misiones de DA que se le asignen, como participar en las maniobras del MDOA o realizar el ejercicio de tiro que el GAAA I/74 tiene anualmente.

$$Media = \frac{10 + 10 + 10 + 10 + 8}{5}$$

- ✓ La segunda pregunta obtiene una media en las respuestas de 7,2 sobre 10 lo que indica en que por lo general el personal afirma que el sistema funciona razonablemente bien. El citado sistema de mantenimiento se puede desglosar en

dos caminos que serán explicados y analizados en la fase Medir de esta metodología. El primer camino es el que sigue el operario de mantenimiento (2º Escalón) cuando se detecta una avería cuyo origen se desconoce y procede a identificarla. El segundo camino objeto de estudio es el que se realiza vía SIGLE, donde debe quedar todo correctamente documentado.

$$Media = \frac{7 + 7 + 6 + 8 + 8}{5}$$

- ✓ La tercera pregunta tiene un 80% de respuesta afirmativa. Es decir, 4 de los 5 entrevistados, a pesar de valorar positivamente el sistema de mantenimiento, piensan que siempre se puede mejorar algún aspecto. En cambio, el 20% del equipo de expertos opina que es suficiente tal y como funciona actualmente.
- ✓ De igual manera, el 80% del equipo afirma que la frecuencia de aparición de averías cuya responsabilidad de resolución recae sobre 1º y 2º Escalón de mantenimiento es diariamente, y solo un experto sugiere que es semanalmente.
- ✓ La media de las respuestas a la quinta pregunta es de un 6,4 sobre 10, pero su desviación típica es de 1,85 lo que indica que existe cierta disparidad entre las respuestas. Algunos expertos consideran que las averías son relativamente fáciles de identificar y otros que por lo general no lo son. Estos datos junto a los resultados de la pregunta anterior aclaran que hay averías diariamente que por lo general son de fácil y rápida detección, pero que semanalmente aparecen otras que necesitan más tiempo debido a su complejidad.

$$Media = \frac{5+9+6+4+8}{5} \quad \sigma = \sqrt{\frac{(5-6,4)^2+(9-6,4)^2+(6-6,4)^2+(4-6,4)^2+(8-6,4)^2}{5}}$$

- ✓ Las respuestas a la sexta pregunta son diversas. Dos de los expertos afirman que las averías localizadas suelen solucionarse en días, otros dos expertos mantienen que en semanas y solo uno de ellos sostiene que en horas. Dependiendo del tipo de avería se tardará más o menos tiempo en identificarla y en solucionarla. Es importante marcar que estos sucesos no son dependientes, pues puede que se tarden días en encontrar el origen de la avería, pero solo unas horas para arreglarlo.
- ✓ En la séptima pregunta la respuesta es unánime. Todos están de acuerdo en que a experiencia de los técnicos es esencial para el mantenimiento del sistema HAWK. Coinciden en que siguiendo los pasos que indica el proceso de mantenimiento el resultado final es el mismo: la solución del problema; pero afirman que con un técnico experimentado el tiempo empleado se reduce considerablemente.

Análisis de las respuestas obtenidas en la pregunta nº 8:

- ✓ Todos ellos coinciden en que la falta de repuestos es un problema de gravedad del sistema. Como ya se ha comentado anteriormente, la antigüedad de este sistema de armas hace que, aunque sus capacidades son excelentes, haya sido adelantado tecnológicamente en numerosas ocasiones por nuevos sistemas. Los países que lo operan o bien ya tienen un sustituto o bien lo están buscando por lo que hay escasez de repuestos de toda índole. Una de las consecuencias que esto produce es que se tengan que arreglar las piezas una y otra vez, lo que hace más probable

que la misma vuelva a estropearse. La escasez de recambios es un inconveniente muy grande para las secciones de mantenimiento que, en muchas ocasiones, tienen que dejar un aparato inoperativo hasta que vuelve a existir disponibilidad de la pieza necesaria.

- ✓ La antigüedad del sistema también es común a todos los expertos. El sistema dispone de una gran cantidad de circuitos electrónicos que con frecuencia fallan debido a los casi 60 años que poseen. Lo mismo ocurre con los cables, que están deteriorados tras tanto tiempo de uso y producen averías muy difíciles de identificar. El problema anterior también está causado por este, y en definitiva lo que produce que el sistema sea tan antiguo es que hay que dedicarle muchas horas de mantenimiento que deberían utilizarse para la instrucción con el material y así estar preparados para combatir cualquier amenaza aérea.
- ✓ La falta de personal en la sección de mantenimiento, y además la falta de personal con el curso también ha sido un problema recurrente entre nuestros expertos. En ocasiones se ven obligados a trasladar averías propias de 2º Escalón a la UAD porque no tienen capacidad física para llevar a cabo su reparación. Si además de no tener personal suficiente se le suma que no todos los que integran esta sección poseen los conocimientos necesarios para ser activos en la reparación de averías, se produce una situación de colapso en la que se pierde mucha capacidad de reparación.
- ✓ Los agentes externos también preocupan al equipo de expertos. Por una parte, la climatología es clave en las labores de mantenimiento. La sección de mantenimiento posee una instalación en la que pueden reparar piezas del material, pero en ella no pueden introducirse los aparatos enteros. Es por ello por lo que en situaciones de climatología adversa no se puedan realizar tareas de mantenimiento de 1º Escalón ni muchas de 2º Escalón. Por otra parte, como la Bía. está permanentemente desplegada en el campo de maniobras los animales (ratas) roen los cables que se extienden por toda la loma, teniendo que ser reparados posteriormente.
- ✓ En relación con el punto de la falta de personal, los expertos también comentan que la falta de continuidad en el cargo dentro de la sección de mantenimiento es un problema que tener en cuenta. Esto es así porque cuando los mandos de esta sección adquieren los conocimientos y la experiencia necesaria en la reparación del sistema HAWK, tienen que marcharse por cambiar de empleo y esto produce un notorio vacío de conocimiento.
- ✓ Los largos desplazamientos del material son un grave problema para el mismo. El sistema de misiles debe estar capacitado para desplazarse allá donde sea necesario, pero cada vez que este realiza un movimiento de larga duración suelen aparecer nuevas averías. Éstas suelen estar causadas por movimientos de cables internos, de las tarjetas de control de los aparatos etc. y por lo tanto la localización de la nueva avería es complicada.
- ✓ Cada remolque tiene su correspondiente matrícula y tiene que pasar su correspondiente Inspección Técnica de Vehículos (ITV) cada cierto tiempo establecido. El problema es que todos los remolques son casi tan antiguos como el sistema en sí, por lo que deben pasar la ITV cada 6 meses. Este proceso no es demasiado ágil debido a la cantidad de vehículos que posee el GAAA I/74 y que

solo una pequeña unidad es la encargada de realizar estas inspecciones, por lo que en ocasiones la batería queda inoperativa por no poseer esta simple inspección.

- ✓ En ocasiones se producen faltas de comunicación entre el 2º Escalón y sus unidades superiores. El 3º y 4º Escalón de mantenimiento se limitan a los arreglos técnicos que el sistema necesite, y no tiene en cuenta los aspectos operativos. Por ejemplo: los escalones superiores realizan la comprobación del voltaje del circuito responsable de la comunicación vía fonía, pero al volver a desplegar el sistema para la instrucción, esta comunicación sigue sin funcionar a grandes distancias por lo que tiene que volver a los escalones de mantenimiento.
- ✓ Finalmente, el último de los fallos más importante para el equipo de expertos es que no siempre se cumple el periodo que tiene que estar una Bía. en la Nave "PIP". Esto es así debido a que la batería que debe estar operativa y que debe estar haciendo instrucción suele necesitar de aparatos de otras Bías. ya que en pocas ocasiones una sección de armas dispone de todos sus aparatos operativos a la vez. Este mismo motivo es el causante de que una sección no disponga de todos sus aparatos funcionando a pleno rendimiento, porque cuando debían estar en mantenimiento estaban en uso.

ANEXO VI. ESTRUCTURA DESGLOSE DE TRABAJO (EDT)

Nombre proyecto: Proyecto Seis Sigma para la mejora del mantenimiento en el sistema HAWK. Project Manager: Jesús Valero		El Project Manager es el responsable de todas las tareas del proyecto.			Fecha: 03/11/2019 17:29
ID	Nombre tarea	Descripción	Fecha inicio	Fecha fin	Status
1	Definir: Identificación y definición de los fallos.		01/09/2019	15/09/2019	Cerrada
	Definir objetivos y potencial del proyecto.	Definición del objetivo último del proyecto, para qué se realiza y por qué es necesario.	01/09/2019	03/09/2019	Cerrada
	Formar el equipo.	Equipo de expertos en el sistema HAWK y su mantenimiento.	03/09/2019	04/09/2019	Cerrada
	Recopilar los requerimientos de los usuarios.	Diseño y realización de encuestas.	04/09/2019	09/09/2019	Cerrada
	Desarrollar el plan y principales hitos.	Realización del Project Charter.	09/09/2019	12/09/2019	Cerrada
	Generar el mapa de proceso inicial.	Realización de la EDT.	12/09/2019	15/09/2019	Cerrada
2	Medir: Medición de la gravedad de las deficiencias.		15/09/2019	30/09/2019	Cerrada
	Definir defectos.	Análisis de las respuestas de los encuestados y consulta de los datos de SIGLE.	15/09/2019	20/09/2019	Cerrada
	Detallar el proceso.	Entrevista con el usuario de SIGLE de la 1ª Bía.	20/09/2019	30/09/2019	Cerrada
3	Analizar: Cuantificar los defectos e identificar raíz.		30/09/2019	07/10/2019	Cerrada
	Describir la situación actual con datos.	Entrevistas con el personal de la Scc. de mantenimiento y recopilación de datos.	30/09/2019	02/10/2019	Cerrada
	Identificar las fases del proceso que sean objeto de posible mejora.	Analizar aquellas fases del proceso de mantenimiento que no sean necesarias o que supongan un gran esfuerzo temporal o económico.	02/10/2019	04/10/2019	Cerrada
	Analizar los datos obtenidos	Estudiar y extraer conclusiones de todos los datos extraídos.	04/10/2019	07/10/2019	Cerrada
4	Mejorar: Generar soluciones.		07/10/2019	25/10/2019	Cerrada
	Clasificar los tipos de medidas a proponer	Establecer criterios de clasificación de las mejoras según los aspectos del sistema a los que afecten.	07/10/2019	09/10/2019	Cerrada
	Generar medidas para solucionar las causas raíz identificadas.	Obtener diferentes posibles soluciones mediante BrainStorming.	09/10/2019	11/10/2019	Cerrada
	Mejorar el proceso.	Crear un nuevo modelo de proceso ideal que suponga alguna mejora respecto al anterior.	11/10/2019	15/10/2019	Cerrada
	Optimizar los tiempos de reparación.	Proponer medidas correctivas respecto a este aspecto. Reducir los tiempos administrativos.	15/10/2019	19/10/2019	Cerrada
	Mejorar el trabajo técnico.	Proponer mejoras que afecten al modo de trabajar de los técnicos de mantenimiento.	19/10/2019	22/10/2019	Cerrada
	Optimizar los costes.	Análisis de riesgos sobre esta medida.	22/10/2019	25/10/2019	Cerrada
5	Control: Generar un plan de seguimiento y control.		25/10/2019	01/11/2019	Abierta
	Definir un plan de control y seguimiento.	Proponer estos planes de control para cada medida de mejora sugerida.	25/10/2019	26/10/2019	Cerrada
	Estandarizar, sistematizar y procedimentar.	Teóricamente.	26/10/2019	27/10/2019	Abierta
	Determinar la nueva capacidad del proceso.	Teóricamente.	27/10/2019	28/10/2019	Abierta
	Desarrollar un plan de transferencia al propietario del proceso.	Teóricamente.	28/10/2019	29/10/2019	Abierta
	Calcular los costes y ahorros finales.	Teóricamente.	29/10/2019	30/10/2019	Abierta
	Generar la documentación final y cerrar el proyecto.	Teóricamente.	30/10/2019	01/11/2019	Abierta

ANEXO VII: REGISTRO DE AVERÍAS DEL HIPIR "A" EN SIGLE Y 2404

Tabla IX.7 Datos averías HIPIR "A" en SIGLE

Fuente: Elaboración propia

Fecha Detección	Avería	Escalón que Resuelve	Estado Petición	Urgencia	Duración Reparación	Tareas Realizadas	Costes Previstos (euros)	Costes Reales (euros)
11-02-2008	Cambio de neumáticos por vida cumplida	2	Finalizada	Urgente + preferencia UCO=1	381 días	-Inspección inicial -Inspección final -Reparación genérica	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 0,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 0,00	-Material: 991,47 -Recursos Humanos: 13,50 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 1.004,97
04-05-2009	Desajuste. No funciona el aparato.	2	Anulada por UCO peticionaria	Urgente	0 días			
04-05-2009	Calibración	2	Anulada por UCO peticionaria	Urgente	0 días			
03-08-2009	Sanear cabina del refrigerante	4	Finalizada	Urgente	206 días	Reparación genérica 4º	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 0,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 0,00	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 3,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 3,00

03-11-2011	Se enciende la luz del colector low flow	3	Finalizada	Urgente	54 días	-Reparación genérica 3°	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 0,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 0,00	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 5.200,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 5.200,00
25-04-2011		2	Finalizada	Urgente	46 días	-Inspección inicial -Inspección final -Reparación genérica	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 0,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 0,00	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 260,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 260,00
28-02-2012	Calibración	3	Finalizada	Urgente	11 días	-Calibración del iluminador	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 65,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 65,00	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 3.900,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 3.900,00
16-07-2012	Calibración caducada	3	Cancelada por UCO peticionaria	Urgente	0 días	-Calibración del iluminador		

03-09-2013	Radار no radia, salta "Regulator Screen & Filament Y B+Short"	2	Finalizada	Urgente	7 días	-Inspección inicial -Inspección final -Reparación genérica	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Material: 0,01 -Recursos Humanos: 260,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 260,01
07-11-2013	Se enciende H.V.P.S. Liquid level y pasa a Stand By	2	Finalizada	Urgente + Preferencia UCO=IV	4 horas	-Inspección inicial -Inspección final -Reparación genérica	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Material: 0,01 -Recursos Humanos: 195,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 195,01
01-07-2014	Calibración	3	Cancelada por UCO peticionaria	No urgente + Preferencia UCO=IV Mantenimiento programado	72 días	-Calibración del iluminador		
03-02-2014	En la prueba de la TCU, da fallo A3	2	Finalizada	Urgente + Preferencia UCO=IV	4 horas	-Inspección inicial -Inspección final -Reparación genérica	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Material: 0,01 -Recursos Humanos: 130,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 130,01
07-02-2014	Falta fusible y no regula fuente de +100 V	2	Finalizada	Urgente + Preferencia UCO=IV	4 horas	-Inspección inicial	-Material: 0,00	-Material: 0,05

						-Reparación genérica -Inspección final	-Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Recursos Humanos: 130,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 130,05
06-03-2014	No pasa a radiate ready	2	Finalizada	Urgente + Preferencia UCO=IV	1 día	-Inspección inicial -Reparación genérica -Inspección final	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Material: 659,64 -Recursos Humanos: 130,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 789,64
27-03-2014	El radar no pasa a radiate ready	2	Finalizada	Urgente + Preferencia UCO=IV	4 horas	-Inspección inicial -Reparación genérica -Inspección final	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Material: 659,64 -Recursos Humanos: 130,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 789,64
13-05-2014	Fallo del degeneration preamplifier en prueba "Bite" de la TCU	2	Finalizada	Urgente + Preferencia UCO=IV	1 día	-Inspección inicial -Reparación genérica -Inspección final	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00	-Material: 1.631,78 -Recursos Humanos: 227,50 -Recursos Técnicos: 0,00

							TOTAL: 390,00	TOTAL: 1.859,28
02-09-2014	Fallo de tarjeta A8 en prueba de servomotor	2	Finalizada	No urgente + Preferencia UCO=IV Mantenimiento programado	4 horas	-Inspección inicial -Reparación genérica -Inspección final	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Material: 2.071,02 -Recursos Humanos: 113,75 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 2.185,77
08-09-2014	Fallo en TCU test	2	Finalizada	No urgente + Preferencia UCO=IV	4 horas	-Inspección inicial -Reparación genérica -Inspección final	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Material: 77,56 -Recursos Humanos: 130,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 207,56
18-09-2014	Funda del IFF rota	2	Finalizada	Urgente + Preferencia UCO=IV	117 días	-Inspección inicial -Reparación genérica -Inspección final	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 227,50 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 227,50
15-01-2015	Ruido en el receptor	2	Finalizada	Urgente + Preferencia UCO=IV	20 días	-Inspección inicial -Reparación genérica -Inspección final	-Material: 0,00	-Material: 2.540,81

							-Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Recursos Humanos: 130,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 2.670,81
20-03-2015	Sellar el cajón del receptor por entrada de agua	4	Finalizada	No urgente + Preferencia UCO=IV	33 días	-Inspección inicial 4° -Reparación antena -Inspección final 4°	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 195,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 195,00	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 2.665,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 2.665,00
23-04-2015	Fallo en la prueba del servomotor	2	Finalizada	Urgente + Preferencia UCO=IV	4 horas	-Inspección inicial -Reparación genérica -Inspección final	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Material: 2.865,21 -Recursos Humanos: 130,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 2.995,21
13-05-2015	Cable roto servomotor (conector)	3	Finalizada	No urgente + Preferencia UCO=IV	13 días	-Inspección inicial 3° -Reparación HV	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 260,00 -Recursos Técnicos: 0,00	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 975,00 -Recursos Técnicos: 0,00

							TOTAL: 260,00	TOTAL: 975,00
24-07-2015	Fallo de la tarjeta A11 en la prueba del servomotor	3	Finalizada	No urgente + Preferencia UCO =IV	1 día	-Reparación genérica	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 130,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 130,00	-Material: 2.865,16 -Recursos Humanos: 162,50 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 3.027,66
05-11-2015	Fallo de la tarjeta A7	3	Finalizada	No urgente + Preferencia UCO=IV	2 días	-Inspección inicial -Quitar y reinstalar unidad/conjunto -Inspección final	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 845,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 845,00	-Material: 2.216,67 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 2.606,67
17-03-2016	Al pasar la prueba del "Signal processor," falla el "Scan driver"	2	Finalizada	Urgente + Preferencia UCO=IV	16 días	-Inspección inicial -Reparación genérica -Inspección final	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Material: 2.540,88 -Recursos Humanos: 1.982,50 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 4.523,38
25-04-2016	Reparación de chapa carcasa tapa superior del transmisor	4	Petición anulada por la UCO de apoyo	No urgente + Preferencia UCO=IV	9 días			

30-04-2016	Trabajos de reparación de chapa en carcasa superior del transmisor	4	Finalizada	No urgente + Preferencia UCO=IV	43 días	-Inspección inicial 4° -Reparación cajón de mecanismos -Reparación pintura -Inspección final 4°	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 455,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 455,00	-Material: 10,56 -Recursos Humanos: 9.230,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 9.240,56
26-05-2016	Montaje del transmisor (cableado, módulos etc.)	2	Finalizada	Urgente + Preferencia UCO=IV	39 días	-Inspección inicial -Reparación genérica -Inspección final	-Material: 0 -Recursos Humanos: 390 -Recursos Técnicos: 0 TOTAL: 390	-Material: 85,62 -Recursos Humanos: 195,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 280,62
31-07-2016	No hace la prueba de confianza	3	Finalizada	No urgente + Preferencia UCO=IV	10 días	-Inspección inicial 3° -Reparación fallo en HV -Inspección final 3°	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 455,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 455,00	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 3.152,50 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 3.152,50
02-09-2016	Salta CB screen y filamentos al encender	2	Finalizada	No urgente + Preferencia UCO=IV	28 días	-Inspección inicial -Reparación genérica -Inspección final	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 130,00

							-Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 130,00
30-09-2016	Fallo en el receptor	2	Finalizada	No urgente + Preferencia UCO=IV	10 días	-Inspección inicial -Reparación genérica -Inspección final	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Material: 18,04 -Recursos Humanos: 130,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 148,04
26-10-2016	D-BOX quemada	3	Finalizada	No urgente + Preferencia UCO=IV	15 días	-Inspección inicial 3° -Reparación genérica -Inspección final 3°	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Material: 2.273,00 -Recursos Humanos: 130,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 2.403,00
14-11-2016	No funciona, huele a quemado	2	Finalizada	No urgente + Preferencia UCO=IV	4 horas	-Inspección inicial -Reparación genérica -Inspección final	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 130,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 130,00

15-12-2016	Reparación puerta grupo radar	4	Finalizada	No urgente + Preferencia UCO=IV	22 días	-Inspección inicial 4° -Reparación cajón mecanismos -Inspección final 4°	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 195,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 195,00	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 2.405,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 2.405,00
06-06-2017	No funciona correctamente. Fallo servomotor o microcomputadora	2	Finalizada	Urgente + Preferencia UCO=IV	8 días	-Inspección inicial -Reparación genérica -Inspección final	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Material: 0,30 -Recursos Humanos: 97,50 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 97,80
04-10-2017	Fallo tarjeta A7 servomotor	4	Finalizada	Urgente + Preferencia UCO=IV	615 días	-Inspección inicial 4° -Sustitución tarjeta A3 de servomotor -Reparación antena -Reparación cajón de mecanismos -Quitar y reinstalar subsistema -Reparación pintura -Inspección final 4°	-Material: 3.111,59 -Recursos Humanos: 1.235,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 4.346,59	-Material: 22.767,40 -Recursos Humanos: 8.038,75 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 30.806,15
17-07-2019	Calibración	2	Finalizada	No urgente + Preferencia UCO=IV	6 días	Calibración del iluminador	-Material: 0,00	-Material: 0,00

							-Recursos Humanos: 65,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 65,00	-Recursos Humanos: 900,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 900,00
08-10-2019	Caja de distribución rota, no deja pasar corriente	2	Finalizada	No urgente + Preferencia UCO=IV	4 horas	-Inspección inicial -Reparación genérica -Inspección final	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Material: 2,00 -Recursos Humanos: 75,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 77,00
11-10-2019	Tarjeta "Range and coding oscillator" averiada	2	Finalizada	No urgente + Preferencia UCO=IV	4 horas	-Inspección inicial -Reparación genérica -Inspección final	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 390,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 390,00	-Material: 0,00 -Recursos Humanos: 75,00 -Recursos Técnicos: 0,00 TOTAL: 75,00

Tabla IX.8 Desglose del tiempo invertido en la reparación
Fuente: Elaboración propia

Avería	Duración: Petición generada	Duración: Pendiente de evaluar	Duración: Pendiente de generar orden de trabajo	Duración: Orden trabajo generada	Duración: Material solicitado a UCO peticionaria	Duración: Material enviado a UCO apoyo	Duración: Material recibido en UCO apoyo	Duración: Orden trabajo cerrada (reparación)	Duración: Material enviado a UCO peticionaria	Duración: Petición finalizada	Duración Reparación
Cambio de neumáticos	0	0	0	0				381			381
Desajuste. No funciona el aparato	0	0	0	0				0			0
Calibración	0	0	0	0				0			0
Sanear cabina del refrigerante	0	0	90	6	1	11	10	83	5	0	206
Se enciende luz del colector low flow	0	0	54	0				0			54
Falla prueba de la TCU	0	0	3	0				43			46
Calibración	0	0	9	2				2			11
Calibración	0	0	0	0				0			0
Radar no radia.	0	0	0	1				6			7
Se enciende luz del colector low flow	0	0	0	0				0			0

Anexos

Calibración	0	0	72	0				0			72
Fallo tarjeta	0	0	0	0				0			0
Falta fusible	0	0	0	0				0			0
No pasa a radiate ready	0	0	0	0				1			1
No pasa a radiate ready	0	0	0	0				0			0
Falla prueba de la TCU	0	0	0	0				1			1
Fallo tarjeta	0	0	0	0				0			0
Falla prueba de la TCU	0	0	0	1				8			9
Funda rota	0	0	0	3				114			117
Fallo comunicaciones	0	0	1	1				12			14
Ruido en el receptor	0	0	0	0				20			20
Tornillo roto	0	0	0	0				0			0
	0	4	1	1	0	0	5	18	4	0	33

Sellar el cajón del receptor por entrada de agua											
Falla prueba de la TCU	0	0	0	0				0			0
Cable roto	0	0	0	2				11			13
Fallo tarjeta	0	0	1	0				0			1
Fallo tarjeta	0	0	0	0				2			2
Falla prueba de la TCU	0	0	0	0				16			16
Funda rota	0	0	0	0	0	0	3	45	6	0	54
Reparación de chapa carcasa	0	1	3	0				5			9
Reparación de chapa carcasa	0	2	7	0	3	0	25	1	5	0	43
Montaje del transmisor	0	0	0	3				36			39
No hace la prueba de confianza	0	0	1	1				8			10
Se enciende luz del colector low flow	0	0	0	0				28			28
Radar no recibe	0	0	0	0				10			10

D-BOX quemada	0	0	0	0				15			15
Desajuste. No funciona el aparato	0	0	0	0				0			0
Reparación de chapa carcasa	0	0	3	0	10	0	4	5	0	0	22
Desajuste. No funciona el aparato	0	0	0	0				8			8
Pintura	0							4			4
Se enciende luz del colector low flow	0	1	3	4	3	3	4	158	2	0	178
Cable roto	0	0	0	0				2			2
Funda rota	0	0	0	0				3			3
Pintura	0	0	0	0				7			7
Pintura	0	0	0	1				9			10
Suciedad	0	1	0	0				6			7
Falta fusible	0	0	1	1				6			8
Cable roto	0	0	0	0				2			2
Tornillo roto	0	0	0	0				0			0
Pintura	0	1	1	0				3			5
Pintura	0	0	0	2				25			27
Pintura	0	0	0	0				23			23
Pintura	0	0	0	0				9			9
Pintura	0	3	1	1	0	4	5	186	3	0	203
Pintura	0	3	0	1	0	3	5	188	4	0	204
Fallo tarjeta	0	2	0	32	0	8	360	118	102	0	615
Calibración	0	0	1	1				4			6

Caja de distribución rota	0	0	0	0				0			0
Falla prueba de la TCU	0	0	0	0				0			0

Tabla X.9 Datos averías HIPIR "A" de estadillos 2404

Fuente: Elaboración propia

Fecha Detección	Avería	Escalón que Resuelve	Tareas	Duración Reparación
14-01-2015	No funciona comunicaciones emergencias	2	Reparación genérica	14 días
18-01-2015	Dos "bolt" rotos en refrigeración	2	Reparación genérica	4 horas
22-03-2016	Funda cámara rota	1	Reparación en guarnicionería	50 días
16-04-2017	Freno manual no funciona	2	Nave PIP	33 días
20-06-2017	Corrosión pintura conjunto antena	1	Nave PIP	4 días
20-06-2017	Falta luz TCU	2	Reparación genérica	178 días
20-06-2017	Cable transmisor cuarteado	1	Nave PIP	2 días
20-06-2017	Tiras protectoras grupo radar rotas	2	Reparación genérica	3 días
20-06-2017	Corrosión malla junta refrigeración	1	Reparación genérica	7 días
20-06-2017	Corrosión interior micro	1	Nave PIP	10 días
20-06-2017	Suciedad interior fuente	1	Limpieza	7 días
20-06-2017	Faltan espaciadores	2	Reparación genérica	8 días
20-06-2017	Cables grupo radar mal estado	1	Nave PIP	2 días
20-06-2017	Tornillo pedestal antena roto	1	Reparación genérica	4 horas
Fecha Detección	Avería	Escalón que Resuelve	Tareas	Duración Reparación

20-06-2017	Corrosión interior antena transmisora	1	Nave PIP	5 días
20-06-2017	Corrosión cajón receptor	1	Nave PIP	27 días
20-06-2017	Corrosión puerta receptor	1	Nave PIP	23 días
20-06-2017	Humedad cajón interior	1	Reparación genérica	9 días
20-06-2017	Falta pintura antideslizante	1	Nave PIP	203 días
20-06-2017	Falta pintura interior grupo radar	1	Nave PIP	204 días

ANEXO VIII. ESTADILLOS DE FILIACIÓN

- **Estadillo 2404:** En este documento se lleva un control de las faltas o deficiencias detectadas en el aparato. Su finalidad es conocer en cualquier momento el estado de un equipo en lo concerniente al mantenimiento correctivo. El formulario será utilizado como registro temporal de las deficiencias y deterioros encontrados antes, durante y después del funcionamiento. Este documento deberá utilizarse por todo el personal que realice revisiones y servicios de mantenimiento preventivo o correctivo. Se actuará sobre él de la siguiente forma:
 - Cuando el Operador detecta una falta, rellena las columnas *a*, *b* y *c* del estadillo.
 - En caso de que pueda solucionarla, rellena el resto de las columnas.
 - En caso contrario, serán los escalones superiores quienes rellenen las restantes.
 - El nombre escrito en la casilla *g* indica que las deficiencias se han corregido.

El estadillo será utilizable mientras queden líneas disponibles. Cuando esté completamente relleno, se procederá según se indica:

- Cuando la totalidad de las columnas *g* y *h* estén rellenas, el Oficial de Mantenimiento de la Batería rellena el bloque 5, lo que supone la certificación de que se han hecho las anotaciones pertinentes en el 0058 y 0061, y entregará un nuevo estadillo en blanco.
 - Cuando esté completo, pero las columnas *g* y *h* no estén rellenas en su totalidad, se entregará un nuevo estadillo, dando entrada en sus primeras líneas a todas aquellas deficiencias pendientes del antiguo.
 - Una vez hecho esto y comprobado por el Oficial de Mantenimiento, éste firmará en el bloque 5, certificando que el nuevo se ha abierto correctamente y que la información del antiguo se ha volcado en el 0058 y 0061.
 - A continuación, el estadillo será remitido a la Sección de Mantenimiento de Grupo/Regimiento, que lo archivará hasta la próxima revista de ese equipo.
-
- ❖ **Estadillo 2407:** Se trata de un formulario de petición de mantenimiento que se utiliza a todos los niveles de mantenimiento y tiene considerable importancia ya que sus repercusiones, en lo que respecta a síntomas y procedimientos de mantenimiento, pueden llegar a los escalones más elevados. Este estadillo se utilizará para:
 - Petición de servicio de mantenimiento.
 - Registro de los trabajos de mantenimiento desarrollados.
 - Servir de fuente de información para estadísticas y estudios de mantenimiento.

Según el escalón de mantenimiento al que va dirigido esta petición, se utilizará la siguiente nomenclatura establecida:

- O.- Mantenimiento orgánico (2º Escalón).
- F.- Mantenimiento de Apoyo Directo (3 Escalón).
- H.- Mantenimiento de Apoyo General (4º Escalón).
- D.- Mantenimiento Industrial (5º Escalón).

En el ámbito de Mantenimiento Orgánico, este formulario se utilizará para petición de reparaciones y servicios de mantenimiento.

❖ **Estadillo DD 314:** También se denomina “Ficha de Programación y Registro de Mantenimiento Preventivo” y tiene las siguientes finalidades:

- Programar los servicios periódicos de mantenimiento preventivo.
- Registrar su realización.
- Presentar los servicios periódicos pendientes o demorados en forma visible y conjunta.
- Conservar un registro de todo el tiempo que un aparato ha estado inoperativo.

El documento consiste principalmente en una cuadrícula en la que cada uno de los cuadros representa un día del año, los días festivos o no existentes se marcan con un aspa; sobre los demás, el Oficial Jefe de la Sección de Mantenimiento programa a lápiz, con una antelación de alrededor de un mes, las labores periódicas según el siguiente código:

S Semanal	CT Cuatrimestral
Q Quincenal	SA Semestral
M Mensual	A Anual
T Trimestral	

A medida que dichas labores se van ejecutando, el Jefe de Equipo las marca a bolígrafo azul o negro. Las operaciones realizadas en fecha diferente a la programada se marcarán igualmente a bolígrafo en la fecha en que se hicieron, pero no se borrará la programada a lápiz.

Cuando el aparato está inoperativo o ingresado en escalones superiores, se traza una línea horizontal a lápiz, abarcando todos los días que ha permanecido en tal situación; sobre ésta puede anotarse “2.º Escalón” o “3.er Escalón”; también pueden existir anotaciones de servicios realizados durante ese periodo.

Los servicios por realizar al alcanzar cierto número de horas, sólo se programarán cuando exista una equivalencia en tiempo (ejemplo, “Trimestralmente o cada 250 horas”). Cuando se realice anticipadamente, al transcurrir 250 horas se marcará con la letra **H** en la fecha realizado y en las observaciones se anotará el servicio periódico programado al que se refiere. Una vez terminado el año, completada la ficha, se transferirán sus datos iniciales a la nueva y se guardará durante un año. (Por ejemplo, la del 2001 se guardará hasta el 01-01-03, y pasada esta fecha se destruirá).

❖ **Estadillo 0054:** También llamado “Estadillo de Recepción del Aparato”. Cumplimentado debidamente este estadillo por los Organismos Oficiales encargados de la compra, no será objeto de posteriores anotaciones a nivel orgánico.

❖ **Estadillo 0055-0056:** También llamado “Inventario”, en este documento se relacionan todos los elementos constitutivos del aparato, identificados por su nombre en inglés y el número de serie del elemento. Cuando un determinado trabajo implica la sustitución de algún componente, queda registrado en este estadillo con la fecha en que se hizo y el nuevo número de serie.

- ❖ **Estadillo 0057:** Llamado “Registro de Tiempo de Funcionamiento”, este estadillo proporciona un registro de las horas de funcionamiento de forma diaria. En la primera columna de la izquierda se anota la fecha día a día y en las dos siguientes las horas de ACTIVACIÓN y RADIACIÓN que marcan los relojes correspondientes al inicio de cada jornada. En la columna de Observaciones se hará mención a los datos necesarios y útiles, así como el motivo de no operación del aparato, como días festivos u otras circunstancias. En la columna Firma constará el nombre en claro del Jefe de Equipo.

Sólo se conservan las hojas del año en curso y al empezar el año se anotan en los cuatro primeros renglones:

- DESDE (la primera fecha registrada en el historial del aparato)
- HASTA (la fecha del día anterior a la de apertura de la hoja).

Una vez acabado el año, el documento será destruido y se abrirá uno nuevo. Se contabilizará el tiempo del equipo mayor, a pesar de que haya más elementos con relojes.

- ❖ **Estadillo 0058:** “Registro de Mantenimiento de 2.º Escalón”. Se utiliza para llevar el control de las operaciones de Mantenimiento Correctivo de 2.º Escalón realizadas sobre el equipo. Las anotaciones deben estar en concordancia con las de otros estadillos. La responsabilidad de su actualización recae sobre el Suboficial de 2.º Escalón a cargo del aparato.
- ❖ **Estadillo 0061:** “Registro de Inspecciones”. Sirve para llevar un control de las inspecciones de mantenimiento hechas al aparato en cuestión. La Sección de Mantenimiento de Regimiento rellenará la primera línea con la fecha de la revista, y a continuación se relacionarán las faltas detectadas. Las columnas de Medidas tomadas y Firma se rellenarán por la Batería.
- ❖ **Estadillo 0064:** “Registro de Entregas”. En este estadillo se mantiene un registro de las diferentes Unidades bajo cuya responsabilidad ha estado asignado el mantenimiento del aparato al que se refiere.

ANEXO IX. EJEMPLO PRUEBAS DIARIAS, SEMANALES, ETC.

Pasos	Operación Indicación normal Procedimiento correctivo	Ilustración		SÍ	NO
		Figura	N.º		
1.	Comprobación de iniciación de la microcomputadora				
	NOIA Las indicaciones normales en los pasos e a k siguientes serán las órdenes de operación diarias de la Batería. Si no se corresponden con estas órdenes, proceder con la tabla 3-18				
a.	Interruptor LAMP TEST Las lámparas F/RAC, A1, A3, A5, A7 y SBC Reemplazar las lámparas defectuosas	Presionar y mantener Encendidas	1-11 1-11	10 3,4,5	
b.	Interruptor LAMP TEST	Soltar	1-11	10	
c.	Interruptor MODE SELECT	Posición 1	1-11	8	
d.	Teclar	A2	1-11	2	
e.	Teclar LCD	ENTER S.STAR (en milésimas)	1-11 1-11	2 1-11	
f.	Teclar LCD	CONT. S.STOP (en milésimas)	1-11 1-11	2 1-11	
g.	Teclar LCD	CONT. BX SR EL (en milésimas)	1-11 1-11	2 1-11	
h.	Teclar LCD	CONT. SC SR EL (en milésimas)	1-11 1-11	2 1-11	
i.	Teclar LCD	CONT. ALTITUDE (en kilómetros)	1-11 1-11	2 1-11	
j.	Teclar LCD	CONT. FREQUENC (la asignada)	1-11 1-11	2 1-11	
k.	Teclar LCD	CONT. HPI INITIALIZATION	1-11 1-11	2 1-11	

Figura VII.0.4 Pruebas diarias HIPIR
Fuente: [11]

11.3. PRUEBAS DE MANTENIMIENTO DEL RADAR

11.3.a. Comprobaciones diarias

ELEMENTO A INSPECCIONAR	PRUEBA A REALIZAR	RESPONSABLE	REF. Y MATERIAL NECESARIO	SÍ	NO
Exteriores del equipo.	Inspeccionar por si hay suciedad o corrosión o algún elemento roto o suelto.	Operadores.			
Cabinas del equipo.	Inspeccionar por si hay acumulación de suciedad. Asegurarse de que esté seco el interior de las cabinas.	Operadores.	SM PAR 007.		

11.3.b. Comprobaciones semanales

ELEMENTO A INSPECCIONAR	PRUEBA A REALIZAR	RESPONSABLE	REF. Y MATERIAL NECESARIO	SÍ	NO
Indicadores de humedad en el grupo receptor-transmisor.	En cuanto se detecte que el desecante cambia de color: — Para la unidad de presurización, cambiar el cartucho de desecante, y el desecante en el indicador de humedad. Si es necesario, cambiar el indicador visual. — Para la unidad de presurización, cambiar el desecante del indicador y el cartucho de desecante.	2.º Escalón.	Párrafos 4-13, 4-14 y 4-15 del TM 9-1430-1534-12-1.		
Radar.	Lubricar según orden de lubricación.	Operadores y 2.º Escalón.	LO. 9-1430-1534-12 y capítulo 4 del TM 9-1430-1534-12-1.		
Filtros de aire.	Comprobar que no están sucios, dañados o con corrosión.	Operadores.			
Cascos de comunicaciones.	Inspeccionar si faltan conexiones o está defectuoso el aislante. Apretar, reparar o reemplazar según corresponda.	Operadores.	TM 9-1430-1534-12-1.		
Radar.	Realizar las pruebas semanales.	2.º Escalón.	Tablas 3-16 a 3-22 del TM 9-1430-1534-12-1.		

Figura VII.0.5 Pruebas diarias y semanales radar PAR
Fuente: [17]

11.3.c. Comprobaciones mensuales

ELEMENTO A INSPECCIONAR	PRUEBA A REALIZAR	RESPONSABLE	REF. Y MATERIAL NECESARIO	SÍ	NO
Radar.	Lubricar en los periodos marcados.	Operadores y 2.º Escalón.	LO 9-1430-1534-12/E y Cap. 4 del TM 9-1430-1534-12-1.		

11.3.d. Comprobaciones trimestrales

ELEMENTO A INSPECCIONAR	PRUEBA A REALIZAR	RESPONSABLE	REF. Y MATERIAL NECESARIO	SÍ	NO
Radar.	Lubricar en los periodos marcados.	Operadores y 2.º Escalón.	LO 9-1430-1534-12/E y Cap. 4 del TM 9-1430-1534-12-1.		
Trailer M-390, M-390C.	Lubricar y llevar a cabo el mantenimiento preventivo.	Operadores y 2.º Escalón.	TM 9-2330-235-14.		

3-22

11.3.e. Comprobaciones semestrales

ELEMENTO A INSPECCIONAR	PRUEBA A REALIZAR	RESPONSABLE	REF. Y MATERIAL NECESARIO	SÍ	NO
Radar.	Lubricar en los periodos marcados.	Operadores y 2.º Escalón.	LO 9-1430-1534-12-1 y Cap. 4 del TM 9-1430-1534-12-1.		
Trailer M-390, M-390C.	Lubricar y llevar a cabo el mantenimiento preventivo.	Operadores y 2.º Escalón.	TM 9-2330-235-14.		

11.3.f. Comprobaciones anuales

ELEMENTO A INSPECCIONAR	PRUEBA A REALIZAR	RESPONSABLE	REF. Y MATERIAL NECESARIO	SÍ	NO
Radar.	Lubricar en los periodos marcados.	Operadores y 2.º Escalón.	LO 9-1430-1534-12-1 y Cap. 4 del TM 9-1430-1534-12-1.		
Trailer M-390, M-390C.	Lubricar y llevar a cabo el mantenimiento preventivo.	Operadores y 2.º Escalón.	TM 9-2330-235-14.		

(Continúa)

Figura VII.0.6 Pruebas mensuales, trimestrales, semestrales y anuales del radar PAR

Fuente:[17]

LUBRICANTES	TEMPERATURAS			INTERVALOS
	Por encima de 0 °C	de + 4° a - 23 °C		
E/HDO (MIL-L-2104) (Aceite)	OE/HDO-30	OE/HDO-10		
BFS (MIL-L-45167) Aceite lubricante				A: Anual M: Mensual
BFS (MIL-B-46167) Líquido de frenos	Todas las temperaturas			
GAA (MIL-G-10924) Grasa de artillería	Todas las temperaturas			
D-680 Disolvente				

3-22

Figura VII.0.7 Comprobación de lubricantes en CWAR

Fuente: [18]

ANEXO X. TABLAS ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS DATOS DE SIGLE

AVERÍAS	TIEMPO DE REPARACIÓN MEDIO	FRECUENCIA	MAX. TIEMPO REPARACIÓN	MÍN. TIEMPO REPARACIÓN	DESVEST TIEMPO REPARACIÓN
Cambio de neumáticos	381	1	381	381	0
Sanear cabina del refrigerante	206	1	206	206	0
Fallo tarjeta	123,6	5	615	0	274,702
Se enciende luz del colector low flow	65	4	178	0	78,494
Funda rota	58	3	117	3	57,105

Tabla XI.10 Las 5 averías con mayor tiempo medio de reparación
Fuente: Elaboración propia

AVERÍAS	TIEMPO DE REPARACIÓN MEDIO	FRECUENCIA	MAX. TIEMPO REPARACIÓN	MÍN. TIEMPO REPARACIÓN	DESVEST TIEMPO REPARACIÓN
Pintura	54,66666667	9	204	4	84,748
Falla prueba de la TCU	12	6	46	0	17,833
Calibración	17,8	5	72	0	30,646
Fallo tarjeta	123,6	5	615	0	274,702
Se enciende luz del colector low flow	65	4	178	0	78,494

Tabla XI.11 Las 5 averías con mayor frecuencia
Fuente: Elaboración propia

AVERÍAS	TIEMPO REPARACIÓN MEDIO	FRECUENCIA	MÁX. TIEMPO REPARACIÓN	MÍN. TIEMPO REPARACIÓN	DESVEST TIEMPO REPARACIÓN
Fallo tarjeta	123,6	5	615	0	274,702
Cambio de neumáticos	381	1	381	381	0
Sanear cabina del refrigerante	206	1	206	206	0
Pintura	54,66666667	9	204	4	84,748
Se enciende luz del colector low flow	65	4	178	0	78,494

Tabla XI.12 Las 5 averías con mayor tiempo de reparación

Fuente: Elaboración propia

AVERÍAS	TIEMPO REPARACIÓN MEDIO	FRECUENCIA	MÁX. TIEMPO REPARACIÓN	MÍN. TIEMPO REPARACIÓN	DESVEST TIEMPO REPARACIÓN
Falla prueba de la TCU	12	6	46	0	17,832
Se enciende luz del colector low flow	65	4	178	0	78,494
Fallo tarjeta	123,6	5	615	0	274,702
Calibración	17,8	5	72	0	30,646
Falta fusible	4	2	8	0	5,657

Tabla XI.13 Las 5 averías con menor tiempo de reparación

Fuente: Elaboración propia

AVERÍAS	TIEMPO REPARACIÓN MEDIO	FRECUENCIA	MÁX. TIEMPO REPARACIÓN	MÍN. TIEMPO REPARACIÓN	DESVEST TIEMPO REPARACIÓN
Fallo tarjeta	123,6	5	615	0	274,702
Pintura	54,66666667	9	204	4	84,748
Se enciende luz del colector low flow	65	4	178	0	78,494
Funda rota	58	3	117	3	57,105

Calibración	17,8	5	72	0	30,646
-------------	------	---	----	---	--------

Tabla XI.14 Las 5 averías con mayor desviación estándar
Fuente: Elaboración propia

