

Propuesta de una hoja de ruta en la Gestión de Activos Navales mediante el Análisis Integrado de CMD¹ basada en la Gobernanza de Datos y Estándares Internacionales

David Julian Roa Almanza
Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad del Valle, Cali
2026

Nota del autor

Este documento cuenta con la dirección de proyecto de trabajo de profundización del Doctor Alberto Mora y del Profesor I.M Sc Adolfo L. Gómez P.

Trabajo de profundización para optar por el título de Magister en Gestión de Activos y Mantenimiento.

Agradezco a Dios por la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia que me permitieron culminar con éxito la Maestría en Gestión de Activos y Mantenimiento. A mi esposa Angélica y a mis padres, Pedro y Fanny, por su apoyo incondicional, comprensión y acompañamiento constante a lo largo de este proceso académico. De igual manera, expreso mi gratitud a la Armada de Colombia por brindarme la oportunidad de formación profesional y por constituir el entorno institucional donde se ha forjado mi desarrollo como oficial. Este trabajo de grado

¹ CMD Confiabilidad Mantenibilidad Disponibilidad – En ingles RAM Reliability, Availability, Maintainability

representa no solo un crecimiento personal y profesional, sino también un aporte orientado al fortalecimiento de la gestión técnica y estratégica de la institución.

Cualquier mensaje con respecto a este trabajo debe ser enviado a la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle, Cali, Colombia.

E-mail: roa.david@correounivalle.edu.co – david.roalmanza@gmail.com

Resumen

La Armada Nacional de Colombia, enmarcada en su misión constitucional, enfrenta desafíos críticos como la defensa de la soberanía y la lucha contra delitos transnacionales, migración ilegal, narcotráfico y otros que afectan la estabilidad regional, estos exigen que se cuente con activos navales (buques, submarinos, aeronaves) estratégicos disponibles y confiables (CCO, 2018).

La cultura de mantenimiento reactiva, la baja calidad de los datos asociadas al uso ineficiente de herramientas como SAP-SILOG módulo de mantenimiento, en la actualidad reducen la capacidad de toma de decisiones que maximicen el valor de la institución, fundamentadas en información confiable y oportuna. Estas condiciones incrementan los costos directos e indirectos durante el ciclo de vida de los activos, gran parte producto de la incapacidad de anticipar fallas críticas (Campbell & Jardine, 2001).

El trabajo propone el análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) basado en metodología científica como un aporte de valor de mantenimiento a la gestión de activos, que se fundamenta en estándares internacionales y la aplicación de métodos estadísticos, que respaldan la necesidad de abordar una hoja de ruta con estrategias que oriente acciones en busca de cerrar brechas en todos los niveles de la institución y que consoliden la sostenibilidad del portafolio de activos de la Armada de Colombia (Dirección de Doctrina Naval, 2022b).

Definir, medir, analizar variables del proceso de mantenimiento como la confiabilidad, mantenibilidad y per se, la disponibilidad (CMD), permite establecer las implementar y controlar estrategias sistemáticas para que la organización optimice sus activos en función de sus objetivos y metas (Mora, 2006).

La mejora continua de valores de CMD se logra mediante la implementación de estudios, proyectos, propuestas de hojas de ruta y acciones orientadas a optimizar la función esencial del mantenimiento: garantizar la funcionalidad y confiabilidad de los equipos a lo largo del tiempo.

La función de mantenimiento dentro de la gestión de activos no se limita a reparar fallas de los mismos, sino que busca prevenirlas mediante un trabajo planificado, respaldado por políticas integrales definidas por la dirección (Mora, 2009).

La propuesta optimiza la disponibilidad y confiabilidad de los activos navales, lo que contribuye a consolidar una institución con un excelente nivel de madurez que eleva los estándares de gestión de activos en Latinoamérica (Hernández Roca et al., 2016).

Palabras clave

Gestión de activos navales; hoja de ruta; confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad; ciclo de vida; mantenimiento; proyección regional; sostenibilidad operacional.

Abstract

The Colombian Navy, within the framework of its constitutional mission, faces critical challenges such as the defense of sovereignty and the fight against transnational crimes, illegal migration, drug trafficking, and other threats that affect regional stability. These challenges demand available and reliable strategic assets (CCO, 2018). The prevailing reactive maintenance culture and the low quality of data associated with the inefficient use of tools such as SAP-SILOG maintenance module currently reduce the organization's ability to make value-based decisions supported by reliable and timely information. These conditions increase both direct and indirect costs throughout the asset life cycle, largely due to the inability to anticipate critical failures (Campbell & Jardine, 2001). This study proposes a reliability, maintainability, and availability (RMA) analysis based on scientific methodology as a value-added contribution from maintenance to asset management. It is grounded in international standards and the application of statistical methods that support the need to establish a roadmap with strategies aimed at closing operational gaps and strengthening the sustainability of the asset portfolio, such as the Colombian Navy's fleet (Naval Doctrine Directorate, 2022b). Measuring and controlling key maintenance performance indicators such as reliability, maintainability, and, inherently, availability (RMA) enables the organization to define strategies that optimize assets in alignment with its goals and objectives (Mora, 2006). Improving RMA indices is achieved through the implementation of studies, projects, strategies, roadmaps, and actions aimed at optimizing the core maintenance function: ensuring the functionality and reliability of equipment over time. Within asset management, the maintenance function is not limited to repairing failures but rather focuses on preventing them through planned work supported by comprehensive policies established by management (Mora, 2009). The proposed guideline enhances the availability and reliability of naval assets, contributing to

the consolidation of a regionally projected navy through a replicable model that raises the standards of asset management in Latin America (Hernández Roca et al., 2016).

Keywords: Naval asset management; roadmap; reliability, maintainability, and availability; life cycle; maintenance; regional projection; operational sustainability.

Contenido

Resumen	3
Abstract.....	5
Contenido	7
Figuras	9
Ecuaciones	10
Introducción y Contexto Operacional	11
Planteamiento del problema.....	13
Justificación	15
Objetivos.....	19
General	19
Específicos.....	19
UNO – Normas.	19
DOS – Caracterización	19
TRES – Valoración CMD.	19
CUATRO - Diagnóstico.....	20
CINCO – Diseño Estratégico	20
SEIS – Conclusiones.	20
Marco Teórico.....	21
Contexto Nacional	31
Contexto Institucional	32
Estado del Arte.....	35
Marco Metodológico.....	38
Tipo de Investigación	38
Fases del Proyecto	38
Desarrollo	41
Objetivo 1 Requerimientos Normativos	41
Desarrollo normativo integrado.....	42
Objetivo No. 2 Caracterización e información	48
Selección de la Unidad tipo	50
Descripción de la unidad	51
Taxonomía de la Unidad	51
Selección del equipo a analizar	53
Objetivo No 3 Valoración CMD.....	56
Extracción de Datos desde SAP y fuentes documentales	58
Variables de extracción	60
Cálculos de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (CMD)	64
Objetivo No. 4 Diagnostico.....	68
Análisis Estadístico Weibull y Validación del Modelo.....	68
Estadio Descriptivo.....	69
Estadio Diagnóstico.....	77
Curva de Confiabilidad.....	77
Curva de No Confiabilidad	79
Curva de contorno β beta – η eta.....	80
Identificación de Variables Críticas y Procesos Influyentes	82
Diagnóstico Integral y Estrategias de Mejora.....	82
Objetivo 5 Diseño Estratégico	87
Metodología de Seleccionada	89
Brechas Identificadas	90
Calidad del Dato	91

Acciones / tareas de Mantenimiento	91
Capacidades técnicas de medición	92
Madurez en Gestión de Activos	92
Matriz DOFA nivel Estratégico, táctico y operacional.....	93
DOFA Estratégico	94
DOFA Táctico	95
DOFA Operacional.....	95
Desarrollo del ciclo DMAIC.....	96
Gestión de Activos y mantenimiento.....	98
Hoja de ruta a Corto Plazo (0–24 meses).....	99
Hoja de Ruta a Mediano Plazo (24–60 meses).....	100
Hoja de Ruta a Largo Plazo (5 a 18 años).....	101
Objetivo 6. Conclusiones	103
Descripción de cómo se alcanzan los objetivos	105
UNO – Normas.....	105
DOS – Caracterización.....	105
TRES – Valoración CMD.....	106
CUATRO - Diagnóstico.	106
CINCO – Diseño Estratégico.....	107
Referencias	109

Figuras

Figura 1- Adaptación de las relaciones que gobierna el sistema de Mantenimiento	24
Figura 2 - <i>Interacción contexto de la organización, los SGA y el SGM</i>	28
Figura 3 - Proceso de mantenimiento mapa de Procesos UNE EN 17007	29
Figura 4 - Grafica gastos de la FF.MM y la PONAL año 2018	31
Figura 5 - Elemento de tiempos en condiciones operativas	43
Figura 6 -Elemento del tiempo fuera de servicio	43
Figura 7 -Evolución de la analítica hacia la inteligencia	46
Figura 8 - Grafica porcentaje de unidades tácticas marítimas de combate y patrullaje. .	50
Figura 9 - Ejemplo estructura taxonomía de un buque	52
Figura 10 - Criticidad de equipos del buque.	53
Figura 11 - Clasificación taxonómica hasta el equipo estudio.....	54
Figura 12 - Datos de Ordenes de mantenimiento Motor Propulsor SAP PM.....	58
Figura 13 - Datos de Avisos correspondientes a fallas (correctivos) SAP PM.....	59
Figura 14 - Data burda organizada de mantenimiento preventivo y correctivo	60
Figura 15 - Tiempos Útiles entre mantenimientos correctivos.....	61
Figura 16 - Tiempos de mantenimientos correctivos.....	62
Figura 17 - tiempos útiles entre tareas proactivas.....	63
Figura 18 - Tiempos de actividades proactivas.	63
Figura 19 - Grafica Disponibilidad Alcanzada	69
Figura 20 - Grafica de Betas específicos y Globales	70
Figura 21 - Grafica Betas Integrales y Beta total	71
Figura 22 - Grafica Betas No Planeados	71
Figura 23 - Grafica Betas Planeados	72
Figura 24 - Graficas Eta integrales y total.....	73
Figura 25 - Grafica Tiempos de mantenimiento y reparaciones.	75
Figura 26 - Grafica Tiempos Útiles	76
Figura 27 - Curva de Confiabilidad	78
Figura 28 - Curva de No Confiabilidad.....	79
Figura 29 - Curva de contorno Beta y Eta.....	81
Figura 30 - Informe 7 Betas motor propulsor CPV	85
Figura 31 - Enfoque sistémico Integral de mantenimiento Estratégico	88
Figura 32 - Resultado Evaluación de madurez G.A año 2017	93
Figura 33 – Niveles de Importancia DOFA y categorías PESTEL.....	94
Figura 34 Matriz de factores DOFA estratégico	94
Figura 35 – Matriz de análisis DOFA a nivel táctico.....	95
Figura 36 – Matriz de análisis DOFA a nivel Operacional.....	95

Ecuaciones

Ecuación 1- Media de Mantenimiento.....	64
Ecuación 2 – Tiempo promedio entre fallas.....	65
Ecuación 3 – Disponibilidad Alcanzada	65

Introducción y Contexto Operacional

La jurisdicción marítima de Colombia abarca cerca del 44,85 % de su territorio total, aproximadamente 589.560 km² en el Caribe y 339.100 km² en el Pacífico, lo que le confiere una responsabilidad en soberanía y vigilancia marítima, atribuida a la Armada Nacional.

El documento CONPES 3990 elaborado por la Dirección Nacional de Planeación, define entre sus objetivos mantener la soberanía, defensa y seguridad integral marítima, así como el fomento del desarrollo sostenible de las actividades marítimas, la investigación y la gestión de los espacios costeros e insulares (Conpes 3990, 2020).

La Armada al liderar el cumplimiento de este objetivo, mediante la protección de los intereses marítimos, por medio del Poder Naval, enfrenta a diario amenazas transnacionales como el narcotráfico marítimo, (Palma-Morales et al., 2023), este fenómeno exige la necesidad de realizar estrategias sólidas que garantice contar con una gestión de activos madura, eficiente y sostenible (Cadena Afanador, 2012).

La gestión de activos permite a las instituciones garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los recursos navales, optimiza el presupuesto de la nación y extiende la vida útil de los activos críticos (Hernández Roca et al., 2016).

El Plan Estratégico Naval 2024–2027 establece en su objetivo estratégico No. 9 garantizar el sostenimiento de las unidades para el cumplimiento de la misión, al contemplar el fortalecimiento de la gestión de activos con el fin de alcanzar niveles óptimos de desempeño en medios navales, este objetivo asegura que la capacidad operativa y de proyección de la Armada no se vea limitada por falta de medios logísticos, mantenimiento deficiente o carencia de recursos energéticos (Armada de Colombia, 2024).

La gestión de activos y mantenimiento en este escenario aporta al cambio organización hacia un enfoque reactivo de administrar los equipos hasta la falla, reparar su función y mantener con un mínimo de recursos disponibles, para consolidarse como un modelo integral orientado a

implementar estrategias que mejoren de manera proactiva la confiabilidad, la sostenibilidad y optimicen el ciclo de vida de los activos.

Desde el año 2004, la institución cuenta con el sistema de gestión de procesos ERP SAP para la administración de sus activos. A través de esta plataforma se realiza la carga y procesamiento de la información necesaria para el análisis de datos y la toma de decisiones de manera centralizada y coordinada, generando valor para la organización. La incorporación de tecnologías de la información mejora la eficiencia organizacional y puede reducir entre el 10 % y el 30 % del presupuesto anual de mantenimiento, lo cual disminuye el costo del ciclo de vida (Sola & Crespo, 2016).

Un sistema de información en mantenimiento bien administrado, confiable y consolidado permite medir, analizar y controlar los datos claves de gestión, permite tomar acciones proactivas y optimizar la programación de mantenimientos, llevando a una correcta planeación del gasto y ejecutar los recursos durante el ciclo de vida del activo (Crespo Márquez et al., 2009).

La propuesta de una hoja de ruta consolida una estrategia a largo plazo que permitan la mejora continua y la eficiencia del mantenimiento dentro de la gestión de activos mediante la gobernanza y calidad de los datos. Esta visión facilita decisiones prácticas que mejoran la disponibilidad, al aumentar la confiabilidad, disminuir la mantenibilidad de los recursos navales (Durán & Vergara, 2022).

Aplicar los principios esenciales de la gestión de activos y fortalecer el liderazgo institucional desde el mando naval hasta el nivel operativo, ayuda en el avance continuo hacia un estado final deseado, en el que la organización de mantenimiento aporte valor dentro de la gestión de activos, al garantizar la máxima disponibilidad y confiabilidad de los sistemas, optimizar los recursos, prolongar la vida útil de los activos, mitigar impactos ambientales y asegurar la seguridad y participación del personal (L. D. Torres, 2015).

Planteamiento del problema

La Armada de Colombia requiere constante mantener sus capacidades frente a sus necesidades operacionales. El pensamiento estratégico marítimo establece que un Estado se convierte en potencia cuando afirma su soberanía mediante el aprovechamiento de su posición geoestratégica, al utilizar los accesos oceánicos y las rutas marítimas para fortalecer su desarrollo y proyección (Mahan, 2010; Till, 2018).

La necesidad de contar con medios operativos disponibles se enfrenta a brechas como el déficit presupuestal estatal, la ocurrencia de fallas críticas en activos estratégicos (buques, submarinos, aeronaves y lanchas) y los tiempos de inactividad no planificados. Estas condiciones generan altos riesgos derivados de una gestión de mantenimiento que aún carece de la integración de metodologías aplicadas a nivel industrial, las cuales permiten mejorar la confiabilidad, optimizar la mantenibilidad y aportar mayor valor a la Institución (Jefatura de Material Naval, 2021).

El problema central consiste en la ausencia de análisis descriptivos y diagnósticos de variables de mantenimiento en todos los niveles estratégicos, tácticos y operacionales, basado en metodología científica. Esta práctica reduce la eficiencia en la toma de decisiones y la asignación de recursos para el sostenimiento de los activos críticos, lo cual se traduce en riesgos operacionales al reducir la disponibilidad de unidades estratégicas (Mora, 2024).

La carga de información técnica al sistema SAP PM se realiza de manera no estandarizada, con baja calidad, basada en criterios individuales, ausencia de la transferencia de conocimiento, entre muchos otros factores que afectan en todos los niveles de la organización. Esto ocasiona ausencia de información, duplicidad, errores y pérdida de trazabilidad de datos, afectando la capacidad de análisis institucional y la toma de decisiones estratégicas sobre disponibilidad, confiabilidad y eficiencia del mantenimiento naval.

El análisis descriptivo, diagnóstico, predictivo y prescriptivo emplea datos históricos para la implementación de estrategias, así como la proyección de escenarios futuros. Estos enfoques

permiten identificar tendencias y establecer acciones que impacte de forma positiva en los resultados.

Las organizaciones con visión estratégica utilizan analytics integral y cognitiva para combinar métodos avanzados, generar decisiones inteligentes y diseñar estrategias que consolidan ventajas competitivas sostenibles, seguras y altamente efectivas en sus operaciones (Wilson, 2020).

La Armada se vincula progresivamente a gestionar los activos bajo la norma ISO 55001, mediante un diagnóstico institucional de años anteriores evidencia un nivel de madurez bajo en proceso de implementación, así como un uso limitado del SAP-PM del 34,88 %, lo que demuestra la necesidad de fortalecer estrategias alineadas a normas de gobernanza de datos. La gobernanza de datos se constituye en pilar estratégico que asegura trazabilidad, coherencia y calidad de la información para respaldar decisiones en gestión de activos (Farfán, 2024).

Justificación

La Institución requiere una transformación profunda hacia un sistema de gestión de activos alineado desde el nivel estratégico hasta las acciones operacionales de mantenimiento. Este sistema debe integrar los lineamientos establecidos por las normas y estándares internacionales, promoviendo la generación de valor a través de actividades coordinadas (Medina, 2016).

La adecuada gobernanza de datos debe facilitar la implementación de herramientas analíticas descriptivas y diagnósticas que respalden la adopción de estrategias de mantenimiento orientadas a garantizar la disponibilidad, sostenibilidad y capacidad operativa necesarias para el cumplimiento de los objetivos institucionales (Rastegari & Salonen, 2015).

El sostenimiento de los activos estratégicos definidos en el portafolio del PEGA constituye un factor decisivo para garantizar soberanía, seguridad marítima y defensa nacional. La disponibilidad de medios navales determina la capacidad de respuesta frente a amenazas transnacionales que exigen operaciones continuas.

El panorama actual muestra limitaciones como planes de mantenimiento desactualizados, uso parcial y baja calidad de registros en el sistema de gestión SAP-SILOG y una cultura de mantenimiento reactiva. Estas condiciones generan ineficiencias, incrementan costos del ciclo de vida y reducen la capacidad de anticipar fallas críticas (Suárez et al., 2024).

La adopción de metodologías estocásticas basadas en el análisis de variables de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD), permite mediante estadística de datos realizar una descripción, diagnóstico y proyección de las acciones de mantenimiento que puedan anticiparse a las fallas de los equipos asegurando la disponibilidad técnica de los activos (Mora, 2009).

El modelo integrado entre la normativa de gestión de activos y el conocimiento científico se consolida como un proceso estratégico que permite utilizar de manera eficiente las herramientas de gestión de mantenimiento. Este enfoque propone estrategias que trascienden

la simple ejecución de tareas de mantenimiento y buscan maximizar el valor de los recursos navales, incrementando su eficiencia y fortaleciendo la capacidad institucional para evaluar, medir y mejorar de forma continua (Crespo Márquez et al., 2009).

La transformación implica fortalecer la gobernanza y calidad de los datos, establecer métricas de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, y adoptar estándares internacionales que integren información que permita mediante métodos analíticos lograr un enfoque que convierta los datos en conocimiento útil para priorizar recursos, optimizar decisiones y garantizar desempeño confiable de los activos en condiciones operativas exigentes (Akkaya, 2013).

La estandarización del flujo de información mediante procesos ETL permite garantizar calidad, consistencia y valor analítico en los datos técnicos. En el contexto naval, contar con una base de información depurada y estructurada facilita la planificación de mantenimientos, optimiza el uso de recursos y fortalece la gobernanza de los activos, contribuyendo directamente a la disponibilidad operacional y la sostenibilidad de la flota.

La gobernanza de datos vincula la información con la capacidad de transformarla en conocimiento aplicable, lo que fortalece la eficiencia organizacional y orienta la gestión de activos hacia los objetivos estratégicos institucionales. El enfoque estructurado asegura trazabilidad y coherencia en el uso de datos, permite que las decisiones técnicas y operativas se sustenten en bases confiables para que la organización consolide una cultura orientada a la mejora continua y al aprovechamiento de sus recursos (Khatri & Brown, 2010).

El desarrollo de una hoja de ruta como resultado final del trabajo orienta de forma ordenada las acciones que se deban tomar en niveles estratégicos, operativos y tácticos, para cerrar brechas, alcanzar mayor madurez en la gestión de activos y asegura la sostenibilidad de los medios navales. El propósito fortalece el liderazgo institucional, mejora la eficiencia presupuestal y garantiza la continuidad de las operaciones navales en un entorno económico y geopolítico complejo, donde la disponibilidad y confiabilidad constituyen factores decisivos para la defensa nacional (DoD, 1981).

El presente trabajo de profundización es una guía para el crecimiento sostenido del conocimiento en gestión de activos y mantenimiento, integra el conocimiento adquirido en las materias vistas en la maestría en gestión de activos y mantenimiento dictada por la Universidad del valle, con su aplicabilidad en las organizaciones e instituciones de la región, que permite un aprendizaje exponencial estructurado, sustentado en información de calidad y metodologías de clase mundial (GFMAM, 2024).

Objetivos

General

Proponer una hoja de ruta para la gestión de activos navales de la Armada de Colombia, mediante el análisis integrado de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD), fundamentada en la gobernanza, la calidad del dato y los estándares internacionales, con el fin de garantizar la trazabilidad, consistencia y alineación estratégica de las decisiones de mantenimiento y operación.

Específicos

UNO – Normas.

Definir los requerimientos normativos de la IEC 61703, UNE EN 16646², ISO 55013³ y 15341⁴, reconociendo su importancia para la medición de CMD dentro de la gestión de activos.

Nivel 1 – Conocimiento Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.

DOS – Caracterización.

Identificar la información operativa y de mantenimiento de una unidad tipo de la Armada de Colombia, que relacione las variables que la caracterizan y que afectan la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD). **Nivel 2 - Comprensión de la Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.**

TRES – Valoración CMD.

Aplicar herramientas valoración de CMD a partir de la data suministrada, analizada, para integrarlas con metodologías de gobernanza de datos. **Nivel 3 - Aplicación de la Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.**

² UNE EN 16646 Mantenimiento en la gestión de activos Físicos

³ ISO 55013 Guidance on the management of data assets

⁴ UNE EN 15341 Indicadores clave de desempeño del mantenimiento

CUATRO - Diagnóstico.

Analizar los resultados obtenidos en la valoración de CMD, definiendo las variables críticas, las actividades relevantes y los procesos influyentes en la gestión de activos y en mantenimiento. **Nivel 4 - Análisis de la Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.**

CINCO – Diseño Estratégico.

Proponer una hoja de ruta para la implementación de un sistema de gestión de activos navales basado en la gobernanza de datos, que integre métricas de CMD bajo estándares internacionales de gestión de activos. **Nivel 5 - Sintetizar - Escala de Bloom & Gagné**

SEIS – Conclusiones. Presentar los principales resultados obtenidos.

Marco Teórico

La perspectiva multidisciplinaria que integra la gestión de activos y el mantenimiento permite desarrollar una sólida aproximación teórica en el trabajo de profundización, sustentada en las asignaturas impartidas por la Universidad del Valle en la Maestría en Gestión de Activos y Mantenimiento. Esta formación fortalece las bases de conocimiento necesarias para el desarrollo de la investigación aplicada.

La asignatura de “mantenimiento dentro de la gestión de activos”, ofrece una visión integral del sistema de gestión de mantenimiento dentro de la gestión de activos según la ISO 55001, abordando aspectos técnicos, humanos y económicos. Basado en la UNE 16646, desarrolla competencias para planificar, ejecutar y mejorar procesos de mantenimiento alineados a sistemas de gestión de activos. Promueve un enfoque práctico y humano que convierte a los participantes en generadores de valor para sus organizaciones (Medina, 2016).

El curso “Gestión de activos alineado a la norma ISO 55001” desarrolla las competencias orientadas a implementar sistemas de gestión que sean sostenibles, resilientes y generadores de valor a lo largo del ciclo de vida de los activos. Reconoce la gestión de activos como un proceso integral y estratégico, cuyo éxito depende del manejo eficaz de la información y de la articulación entre operaciones, mantenimiento, finanzas y demás habilitadores organizacionales (Organ et al., 1997).

La materia “Gestión estratégica y modelo de negocios” ayuda a comprender la importancia de la planificación estratégica como proceso para definir y ejecutar rutas que garanticen el logro de los objetivos organizacionales. A través del análisis del entorno, las brechas y la situación futura deseada, se promueve la formulación del Plan Estratégico de Gestión de Activos (PEGA), herramienta que traduce los objetivos corporativos en acciones concretas y aplicables dentro de los procesos y decisiones empresariales (Bonicatto, 2017).

El módulo de Análisis de Ciclo de Vida del Activo (LCCA) permite evaluar, desde las etapas iniciales, todos los costos relevantes asociados a un activo, facilitando decisiones de

inversión informadas por parte de la alta dirección. Mediante herramientas financieras como el Valor Presente Neto (VPN), el Costo Anual Equivalente (CAE) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), se comparan alternativas técnica y económicamente viables. El curso aborda tres ejes fundamentales: Valor del dinero en el tiempo, impacto de la confiabilidad y mantenibilidad, y análisis de reemplazo de activos físicos (Blank & Tarquin, 2020).

El módulo de “Gestión de la información y medición del desempeño e indicadores del SGA” aborda la información como un activo estratégico dentro de un sistema integral de gestión de activos, reconoce su valor para la toma de decisiones y la reducción de riesgos. Se analizan los sistemas de información y sus procesos, garantizando su alineación con los objetivos institucionales. La evaluación de los indicadores estratégicos, tácticos y funcionales, es una herramienta para medir el desempeño, identificar mejoras y fortalecer los planes de gestión (P. Farfán & Catalán, 2024).

En la asignatura “Herramientas de confiabilidad” se desarrolla las competencias necesarias para que por intermedio de diferentes herramientas se pueda predecir el comportamiento futuro de los activos físicos mediante el uso de modelos matemáticos y principios de confiabilidad. Un enfoque sistemático de los factores que influyen en el desempeño de los activos, donde se aplica las herramientas estadísticas de confiabilidad para prevenir fallas, optimizar recursos y garantizar la continuidad operativa (Araque et al., 2020).

El curso de “Análisis Causa Raíz” establece esta herramienta esencial en la gerencia de mantenimiento para mejorar el desempeño de los activos físicos y la rentabilidad del negocio. Permite identificar las causas reales de fallas, prevenir su recurrencia y orientar decisiones gerenciales con criterios técnicos, económicos y de seguridad, promoviendo una gestión proactiva que minimiza riesgos y maximiza la eficiencia operativa (Latino et al., 2019).

La gestión de activos se entiende como un enfoque estratégico mediante el cual una organización administra de manera integrada sus recursos físicos, humanos y tecnológicos, con el propósito de maximizar el valor que generan. Su aplicación busca lograr un equilibrio sostenible

entre costos, riesgos, desempeño y beneficios, de modo que las decisiones sobre los activos no solo aseguren la continuidad operativa, sino que también contribuyan al cumplimiento de los objetivos institucionales y a la creación de valor en el largo plazo (BS ISO, 2024).

Los cinco principios de la gestión de activos nombrada por la IAM⁵ complementan esta visión al subrayar la capacidad de adaptación al contexto organizacional y externo, reconociendo que los cambios en recursos, riesgos y oportunidades exigen respuestas ágiles y sostenibles. Además, introducen una perspectiva de ciclo de vida integral que evita enfoques de corto plazo y promueve la optimización de los activos de manera sostenible. Con ello, la IAM refuerza que la gestión de activos no solo se alinea con los objetivos estratégicos, sino también anticipa transformaciones del entorno y asegura la resiliencia en la organización mediante una cultura sólida y un liderazgo compartido en todos los niveles (IAM, 2024).

El propósito de la gestión integral de activos y del mantenimiento consiste en preservar los bienes que conforman cada eslabón de un sistema productivo en condiciones óptimas de operación, mediante la aplicación de estrategias de mejoras en el proceso de mantenimiento orientadas a aumentar la confiabilidad y la productividad (L. D. Torres, 2015).

La gestión de Activos integra aspectos técnicos, económicos y de riesgo para optimizar decisiones de inversión, operación y mantenimiento, destacando la necesidad de alinear los objetivos estratégicos con las acciones operativas (Hastings, 2010).

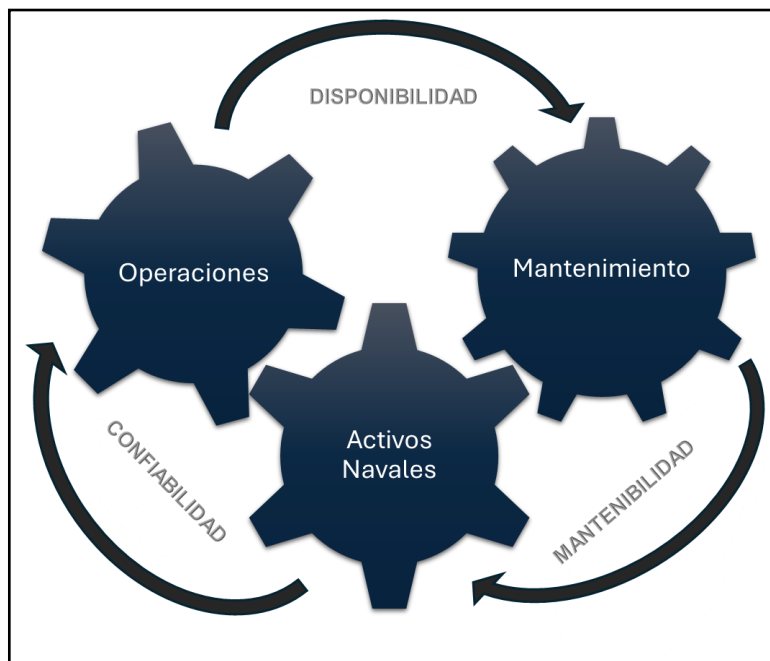
El mantenimiento en la industria naval garantiza la confiabilidad de los sistemas de producción mediante actividades de planeación, organización, control y ejecución de métodos orientados a conservar los equipos. Su alcance se centra en la reducción de fallas como resultado de un trabajo sistemático y gerencial. Su valor se refleja en la optimización de recursos, apoyado en una política integral de la dirección que respalda la gestión con lineamientos estratégicos y asignación adecuada de medios (Mora, 2009).

⁵ IAM - Institute of Asset Management

La función principal del mantenimiento consiste en preservar la operatividad de los equipos y asegurar que las máquinas se conserven en condiciones adecuadas a lo largo del tiempo con el menor costo posible. La evolución del área de mantenimiento refleja su capacidad de adaptación a las necesidades de organizaciones de producción y servicios (Garrido, 2003).

Figura 1

Adaptación de las relaciones que gobierna el sistema de Mantenimiento



Nota: Elaboración propia adaptado del libro de mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio (A. Mora, 2006). Esta figura es adaptada a los elementos que interactúan con un enfoque sistémico en la Armada de Colombia

La mantenibilidad constituye una característica inherente de un elemento, vinculada a su capacidad de ser restaurado para el servicio mediante la ejecución de tareas de mantenimiento específicas. Su aplicación en ingeniería exige expresar la definición en forma cuantitativa, traduciendo lo cualitativo en medidas como frecuencia de mantenimiento, tiempo empleado y coste asociado. Estos factores, permiten evaluar, predecir y optimizar la mantenibilidad como atributo esencial en el ciclo de vida de los activos (Knezevic, 1996).

La confiabilidad representa la probabilidad de que un elemento funcione de manera satisfactoria durante un período específico bajo condiciones operativas definidas sin fallas.

establece que la confiabilidad constituye una característica intrínseca del diseño que puede cuantificarse mediante modelos probabilísticos basados en datos históricos de operación. Esta métrica fundamental permite evaluar y comparar el desempeño de diferentes sistemas o configuraciones (DoD, 1998).

La confiabilidad de un equipo se mide por la frecuencia con la que ocurren las fallas a lo largo del tiempo. Un equipo sin fallas es considerado totalmente confiable; con baja frecuencia de fallas, su confiabilidad es aceptable; y con alta frecuencia, se clasifica como poco confiable. Aunque un diseño adecuado, un montaje correcto, pruebas rigurosas y mantenimiento apropiado buscan evitar fallas, la experiencia evidencia que ningún sistema está completamente exento de presentar fallas (Bazovsky, 2004).

En el contexto de los sistemas navales la medición y mejora de la confiabilidad, mediante el análisis de datos históricos y el uso de modelos descriptivos y diagnósticos, no solo permiten optimizar las estrategias de mantenimiento, sino también mejorar la disponibilidad alcanzada, prolongar la vida útil de los equipos y asegurar que los sistemas críticos respondan de manera oportuna y eficaz en escenarios de alta demanda (Mora, 2009).

Los umbrales de tiempo y los estadios de aplicación de *analytics* permiten definir el horizonte futuro deseado en mantenimiento, donde cada nivel analítico requiere datos específicos y metodologías diferenciadas. Bajo los ejes kantianos de espacio y tiempo, se establece la integración del mantenimiento como capacidad estratégica y recurso nuclear del negocio, con el objetivo de futurizar el estado de equipos y máquinas, maximizando confiabilidad, disponibilidad y rentabilidad a través de decisiones sustentadas en datos y modelos científicos (Mora, 2024).

La analítica descriptiva estudia los datos de forma estadística para mostrar qué sucedió en el pasado y parte del estado actual. Este nivel extrae información detallada que facilita diagnósticos iniciales y apoya decisiones futuras. Sus resultados suelen presentarse mediante gráficos, cuadros, informes, paneles o tableros de control, lo que permite visualizar patrones y

comportamientos de fenómenos o variables, convirtiéndose en la base para niveles analíticos más avanzados orientados a la gestión estratégica de los activos (Mora, 2022).

La analítica diagnóstica transforma los datos descriptivos en información con mayor profundidad, al responder por qué ocurrieron los hechos y cuáles fueron sus causas inmediatas o básicas. Este nivel utiliza herramientas como minería de datos, análisis de anomalías, establecimiento de hipótesis y correlaciones, además de metodologías como RCA, FMECA, RCFA y RPN, que permiten identificar raíces de problemas, sustentar decisiones de control y consolidar mejoras sostenibles en procesos de mantenimiento y operación.

La analítica predictiva estudia variables históricas para proyectar valores futuros de corto plazo mediante análisis matemáticos, estadísticos o estocásticos. Se fundamenta en el método científico y técnicas como series temporales o simulación, incorporando probabilidad, riesgo y ocurrencia. Su aplicación, conocida como *forecast*, se apoya en software especializado y plataformas de *business intelligence*, transformando la información en conocimiento útil para anticipar fallas, optimizar decisiones y mejorar la gestión de procesos en entornos complejos y dinámicos.

La analítica prescriptiva extiende la predictiva hacia horizontes de largo plazo, llegando hasta veintidós años y aplicándose en empresas con ciclos ideales de cinco años. También conocida como prospectiva o *foresight*, combina análisis humano y de datos para construir escenarios múltiples de alta complejidad. Este nivel transforma el conocimiento en sabiduría prospectiva, permitiendo diseñar estrategias de largo alcance que anticipan riesgos, optimizan recursos y orientan la toma de decisiones en entornos empresariales dinámicos y competitivos (Davenport & Harris, 2017).

La analítica cognitiva integra tecnologías avanzadas como semántica, inteligencia artificial, *machine learning* y aprendizaje profundo para crear sistemas cada vez más inteligentes capaces de tomar decisiones efectivas en tiempo real. Este nivel transforma sabiduría en inteligencia cognitiva, aplicándose de forma continua y sostenible para generar ventajas

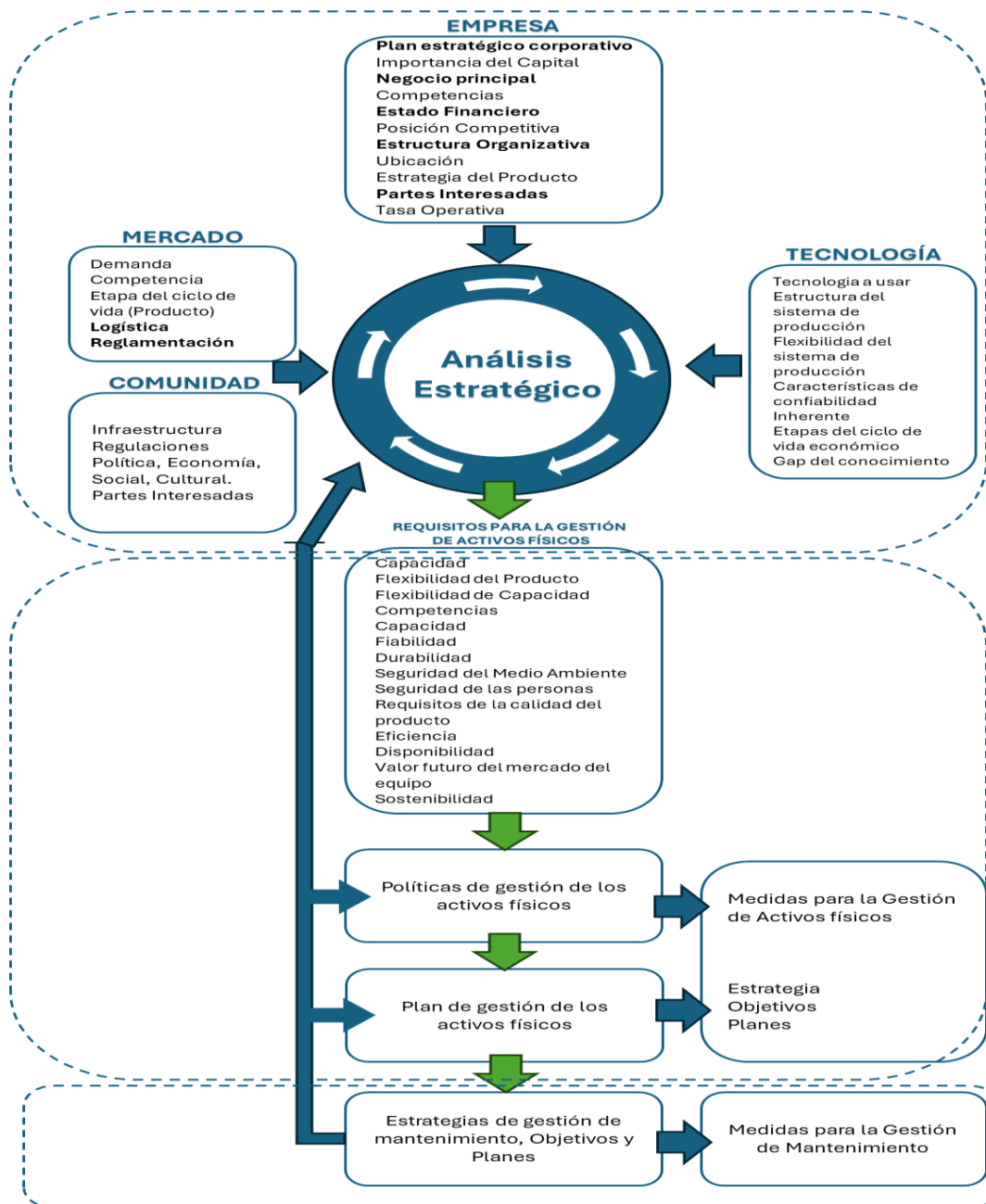
competitivas. Su propósito es consolidar factores clave de éxito que fortalezcan estrategias empresariales y de mantenimiento, maximizando confiabilidad, productividad y competitividad a partir del valor agregado que brindan los activos organizacionales (Espinosa Zárate, 2023).

Una hoja de ruta es un instrumento de planificación estratégica que vincula los problemas identificados con las estrategias de solución o ejecución. Su propósito es proporcionar una visión clara del estado actual hacia el resultado deseado, facilitando la definición de objetivos, la priorización de acciones y la comunicación de la visión a las partes interesadas. Representa un punto de partida en un momento dado y constituye una referencia dinámica para orientar decisiones a corto, mediano y largo plazo (Phaal, 2004).

La norma UNE-EN 16646 establece las directrices para integrar el mantenimiento dentro del marco más amplio de la gestión de activos físicos. Esta norma reconoce que el mantenimiento no es una actividad aislada, sino un componente estratégico que debe alinearse con los objetivos organizacionales y contribuir al valor total del activo durante su ciclo de vida (AENOR, 2015).

La norma UNE EN 17007 proporciona un marco comprehensivo para los procesos de mantenimiento, estableciendo los requisitos para planificar, implementar y controlar actividades de mantenimiento de manera efectiva. Esta norma define los procesos fundamentales que deben estar presentes en cualquier sistema de gestión de mantenimiento efectivo (UNE EN, 2018).

Figura 2 -
Interacción contexto de la organización, los SGA y el SGM⁶



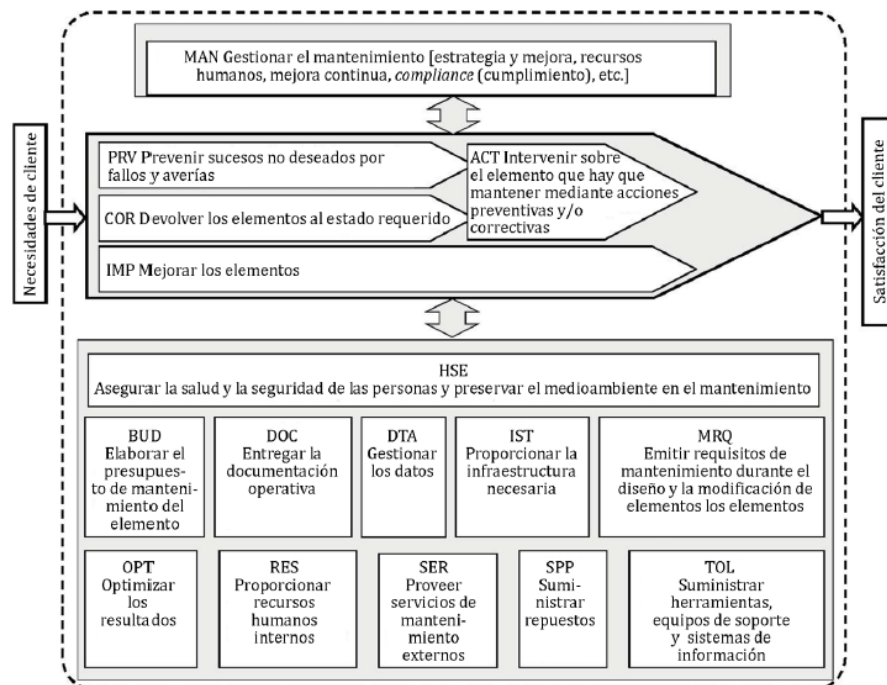
Nota: La figura representa el proceso holístico en el que se interactúa el contexto de la organización con el SGA y el Sistema de Gestión de Mantenimiento como lo establece la Norma técnica española EN 16646. Elaboración Propia adaptado de (AENOR, 2015)

⁶ SGM Sistema de Gestión de Mantenimiento.

Los procesos principales identificados por la ISO 17007 incluyen: planificación estratégica de mantenimiento, gestión de recursos de mantenimiento, ejecución de trabajos de mantenimiento, gestión de la información de mantenimiento y mejora continua de los procesos. Cada uno de estos procesos debe estar debidamente documentado, implementado y monitoreado para asegurar su efectividad.

Figura 3

Proceso de mantenimiento mapa de Procesos UNE EN 17007



Nota: La figura representa el proceso general de una organización de mantenimiento, con los subprocesos que interactúan desde una necesidad hasta la satisfacción del cliente, extraído de la Norma (UNE EN, 2018)

En el contexto naval, la aplicación de estos procesos requiere consideraciones especiales debido a las condiciones operativas particulares, las limitaciones logísticas y los requerimientos de alta disponibilidad. La estandarización de procesos facilita la integración de mejores prácticas y permite establecer métricas comparables para evaluar el desempeño del mantenimiento (Pintelon et al., 2006)

El estándar ISO 14224 (2016) establece los principios y metodologías para la recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos industriales. Este estándar

es fundamental para desarrollar bases de datos consistentes que permitan análisis comparativos y la aplicación de técnicas avanzadas de análisis de confiabilidad.

La norma define las categorías de datos que deben recolectarse, incluyendo datos de falla, datos de mantenimiento y datos operacionales. Para cada categoría, establece los campos de información requeridos, los formatos estándar y los procedimientos de validación. Esta estandarización es esencial para asegurar la calidad y la comparabilidad de los datos entre diferentes sistemas y organizaciones (BSI, 2016)

El estándar también establece taxonomías estándar para clasificar equipos, modos de falla y acciones de mantenimiento. Estas taxonomías proporcionan un lenguaje común que facilita el intercambio de información y permite la aplicación de técnicas de benchmarking y análisis comparativo entre organizaciones similares (Saetia et al., 2019).

La implementación del ISO 14224 en sistemas navales requiere adaptaciones específicas para abordar las particularidades de los equipos navales y las condiciones operativas marítimas. Los equipos navales operan en ambientes agresivos con alta humedad, salinidad y vibraciones, lo que afecta sus patrones de falla y requerimientos de mantenimiento.

La aplicación del estándar en el contexto naval debe considerar factores específicos, un sistema naval integra jerarquías de equipos y subsistemas cuya confiabilidad y mantenibilidad determinan la probabilidad de éxito de la misión. Una estrategia de navegación optimizada eleva la efectividad operativa al considerar cómo se utiliza el buque como sistema complejo de armas. Las variaciones en la confiabilidad y la mantenibilidad convierten a ciertos componentes en eslabones débiles; su optimización permite mejoras rápidas y de bajo costo en la probabilidad de éxito, lo que justifica cuantificar las relaciones entre jerarquías (Xiong et al., 2023).

OREDA⁷ constituye una referencia fundamental para la gestión de activos, al proporcionar datos estadísticos de fallas, modos de falla y tiempos de reparación de equipos industriales. Su aplicación al contexto naval permite disponer de parámetros de confiabilidad y mantenibilidad

⁷ OREDA Offshore and Onshore Reliability Data

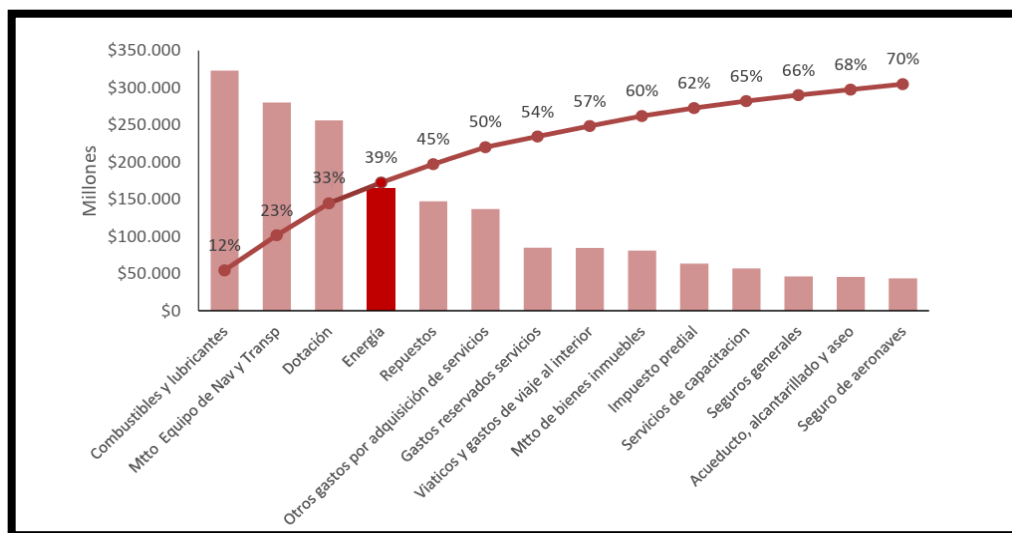
comparables, útiles para el diseño de planes de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) y para la toma de decisiones estratégicas orientadas a maximizar la disponibilidad alcanzada de los buques de la Armada de Colombia (SINTEF & NTNU, 2015).

Contexto Nacional

El Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 establece lineamientos estratégicos que integran sostenibilidad fiscal, desarrollo territorial y fortalecimiento institucional. El documento reconoce la gestión de activos como instrumento para optimizar recursos públicos, mejorar infraestructura y garantizar la disponibilidad de servicios esenciales (DNP, 2023). Esta política articula la planeación macroeconómica con prácticas técnicas de mantenimiento y disponibilidad alcanzada.

El Ministerio de Defensa determina prioridades estratégicas para garantizar la disponibilidad de capacidades militares. El documento de planeación sectorial consolida objetivos de modernización, mantenimiento de medios y alineación con normas internacionales de confiabilidad y disponibilidad (MDN, 2023). La gestión de activos se reconoce como función estratégica que fortalece la seguridad y la soberanía marítima nacional.

Figura 4
Grafica de gastos en las FF.MM y la PONAL año 2018



Nota: Se incluyen únicamente los 14 rubros presupuestales que representan el 70 % de los gastos generales de la Fuerza Pública. Tomado de (DNP, s. f.) Fuente: MDN basado en SIIF-MHCP para el año 2018 (DNP, 2023).

La Figura 4 muestra la distribución de los principales rubros presupuestales de la Fuerza Pública, donde el mantenimiento de naves y transporte, los repuestos y el mantenimiento de bienes inmuebles concentran una parte significativa de los recursos. Esta asignación refleja la prioridad de garantizar la operatividad de los sistemas críticos, asegurar la disponibilidad de equipos y optimizar la continuidad de las misiones, consolidando al mantenimiento como un eje estratégico dentro de la gestión presupuestal nacional.

El Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) formula lineamientos que articulan políticas intersectoriales de desarrollo marítimo y bioceánico. El documento 3990 establece marcos de gobernanza institucional para la protección de espacios estratégicos y para la gestión integral de recursos (Conpes 3990, 2020). La visión refuerza la gestión de activos como herramienta central para la defensa y el desarrollo sostenible.

La Comisión Colombiana del Océano (CCO) articula la política oceánica nacional y coordina la ejecución de la Política Nacional del Océano y de los Espacios Costeros. El organismo establece lineamientos para la investigación, la innovación tecnológica y la integración de capacidades interinstitucionales en torno al espacio marítimo (CCO, 2018). Esta labor refuerza la gestión de activos marítimos al promover la sostenibilidad y la cooperación institucional.

La adopción de estándares internacionales como la ISO 55000 y la ISO 14224 establece marcos técnicos que mejoran la gestión de información de activos y la confiabilidad operativa. Estas normas fortalecen el análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (ISO 14224 & The British Standards Institution, 2016). La estandarización facilita la interoperabilidad de datos, optimiza decisiones y garantiza sostenibilidad del ciclo de vida de activos estatales.

Contexto Institucional

La Armada Nacional desarrolla estrategias de modernización organizacional que integran tecnologías emergentes con procesos tradicionales de mantenimiento naval. El Plan de

Desarrollo Naval evidencia transformaciones significativas en la aplicación del ciclo de vida de activos mediante diseños de proyectos contextualizados (Armada de Colombia, 2020). Los sistemas de información institucionales experimentan mejoras graduales que optimizan gestión documental y trazabilidad operativa. Esta evolución fortalece las capacidades técnicas especializadas en mantenimiento de unidades navales críticas.

Los procesos organizacionales priorizan la implementación de metodologías que articulan objetivos estratégicos con actividades operativas cotidianas. La gestión de activos trascendía enfoques reactivos para incorporar estrategias preventivas que maximizaran disponibilidad de medios navales. Los sistemas SAP-SILOG comienzan la integración progresiva con procesos administrativos que mejoraran eficiencia en gestión de recursos. Esta transformación representa avances sustanciales hacia la consolidación de capacidades técnicas especializadas en mantenimiento estratégico.

La cultura institucional experimenta cambios paradigmáticos que valoran la información como recurso estratégico fundamental para la toma de decisiones. Los programas de capacitación técnica fortalecen competencias del personal en metodologías avanzadas de mantenimiento (R. J. Farfán, 2024). La estructura organizacional incorpora gradualmente enfoques sistémicos que optimizan la coordinación entre áreas técnicas y operativas. Esta visión integral consolida las bases sólidas para transformaciones futuras orientadas a la excelencia operativa.

El Plan Estratégico Naval incorpora objetivos específicos orientados al fortalecimiento institucional de la gestión de activos para alcanzar niveles óptimos de desempeño operativo. La integración de lineamientos estratégicos refuerza capacidades de proyección y sostenimiento que aseguran disponibilidad de activos para operaciones exitosas (Armada de Colombia, 2024). Los sistemas de información muestran avances significativos en centralización de registros que reducen la duplicidad de datos. Esta evolución facilita la integración de estándares internacionales que optimizan la programación de mantenimientos.

Las metodologías FMECA, RCM y CMD experimentan la implementación progresiva que fortalece el análisis de confiabilidad y disponibilidad de sistemas críticos. Los diagnósticos institucionales evidencian niveles de madurez reactiva del 24,28% y uso limitado del SAP-PM del 34,88% (Aguirre & Díaz, 2025). Estos indicadores demuestran necesidades de fortalecer gobernanza de datos mediante procesos estandarizados. La transformación organizacional prioriza la cultura de valor de los datos como recurso crítico para decisiones estratégicas.

La visión institucional consolida la gestión de activos como proceso estratégico que supera la ejecución simple de mantenimientos para maximizar el valor de recursos navales. Los enfoques integrales combinan el uso analítico de SAP-SILOG con metodologías modernas que garantizan la disponibilidad sostenible (Barrero Avellaneda, 2024).

La capacitación del personal incorpora cambios culturales que promueven la disciplina en uso de información trazable. Esta perspectiva aseguraba transformaciones profundas hacia modelos integrales de gestión de activos navales.

La Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial constituye referente estratégico en innovación tecnológica naval para Colombia y Latinoamérica desde el año 2000.

La entidad desarrolla capacidades especializadas en diseño, construcción y mantenimiento de plataformas navales mediante metodologías avanzadas que incorporan estándares internacionales.

Sus programas de investigación y desarrollo consolidan vínculos estratégicos con la Armada Nacional que fortalecen capacidades técnicas institucionales. Esta alianza potencia desarrollo de soluciones innovadoras en gestión de activos navales.

Los proyectos institucionales de COTECMAR integran tecnologías emergentes con necesidades operativas específicas de la Armada Nacional para optimizar ciclos de vida de activos críticos. La corporación desarrolla metodologías especializadas en mantenimiento centrado en confiabilidad que mejoran disponibilidad y sostenibilidad de medios navales.

Sus capacidades técnicas abarcan diseño de embarcaciones para navegación fluvial, costera y oceánica mediante procesos innovadores. Esta experiencia consolida COTECMAR como socio estratégico fundamental para transformaciones en gestión de activos.

La visión corporativa posiciona COTECMAR como una de las oficinas de diseño naval más importantes del continente mediante personal altamente calificado y tecnología de vanguardia. Sus contribuciones al sector defensa fortalecen redes de suministro que optimizan sostenimiento de activos estratégicos nacionales (Carrasco Mora & Berrío Payares, 2024). Los desarrollos tecnológicos incorporan enfoques sistémicos que articulan innovación con operatividad para garantizar excelencia en productos y servicios. Esta capacidad técnica especializada representa recurso invaluable para consolidar gestión avanzada de activos navales.

Estado del Arte

La literatura sobre gestión de activos y mantenimiento evidencia una transición global desde enfoques reactivos hacia metodologías integrales basadas en confiabilidad, indicadores CMD (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) y estándares internacionales. Estos avances han demostrado reducir costos del ciclo de vida y anticipar fallas críticas en sectores estratégicos. En contraste, la Armada Nacional enfrenta limitaciones asociadas a cultura reactiva, obsolescencia tecnológica y baja calidad de datos, lo que resalta la necesidad de adaptar estos modelos al contexto naval colombiano para garantizar sostenibilidad y proyección regional.

Los estudios previos en gestión de activos navales evidencian evolución progresiva desde enfoques reactivos tradicionales hacia metodologías integrales que optimizan confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de sistemas críticos.

La investigación de Aguirre y Díaz (2025) desarrolla propuestas de intervención para mantenimiento de activos de la Armada Nacional mediante análisis de brechas en implementación de estándares ISO 55000. El estudio identifica alta dependencia de estrategias correctivas y débil planificación estratégica que limita coordinación entre áreas técnicas. Esta

investigación fundamenta necesidades de transformación cultural orientada a gestión estratégica de activos.

Los trabajos de Farfán (2024) analizan marcos normativos internacionales aplicados a gestión de activos navales, identificando oportunidades de mejora en procesos institucionales. La metodología mixta descriptiva respaldada en matrices, análisis documental y entrevistas semiestructuradas evidencia limitaciones en sistemas de información y cultura organizacional. Los resultados sugieren planes de intervención enfocados en capacitación del personal, incorporación de herramientas tecnológicas y fortalecimiento normativo. Esta perspectiva consolida fundamentos teóricos para transformaciones sistémicas en gestión de activos.

Las investigaciones sobre optimización de gestión de activos incorporan enfoques de gobernanza de datos y metodologías CMD que fortalecen trazabilidad y coherencia de información estratégica. Los estudios identifican necesidades de superar limitaciones en SAP-SILOG mediante uso analítico que potencie capacidades predictivas (Morales, 2025). La integración de series temporales y simulaciones Montecarlo representa avances metodológicos significativos para análisis de confiabilidad. Estos antecedentes establecen bases sólidas para desarrollo de hojas de ruta que orienten transformaciones integrales en gestión de activos navales.

Los análisis descriptivos y diagnosticos dentro de la industria naval son fundamentales para la optimización de los procesos, con la implementación de nuevas metodologías y tecnologías aplicadas en el contexto de CMD se obtiene una gestión más eficiente. Sin embargo, con la implementación de técnicas de análisis predictivos para anticipar fallas y optimizar estrategias dentro de la industria naval representa un desafío y oportunidad de mejora continua en conjunto con el cumplimiento de estándares normativos navales de seguridad, confiabilidad desempeño de embarcaciones (Suárez et al., 2024).

La gobernanza de datos constituye un componente critico que define la calidad, integridad y accesibilidad a la información esencial para definir un modelo predictivo, desde los datos

generados en el componente operativo como los registros históricos de mantenimiento. Un mantenimiento predictivo funciona con técnicas de medidas y análisis para anticipar fallas en equipos productivos. Sin embargo, (Pérez et al., 2021). Sostienen que es necesario incluir en el debate el perfil profesional dentro de la organización de mantenimiento, en el cual deben integrar competencias como la creatividad, organización, el pensamiento lateral, la planificación, el trabajo en equipo y una visión multidisciplinaria holística.

Marco Metodológico

Tipo de Investigación

Se aborda una investigación de tipo descriptiva con la finalidad de explicar y analizar aspectos fundamentales de la población de estudio, lo cual permite cumplir con el proceso metodológico en función de alcanzar el objetivo general planteado.

El Tipo de la investigación es cuantitativo, aplicado y explicativo, sustentado en el análisis estadístico de datos de mantenimiento. Al integrar indicadores técnicos y modelos analíticos, se mejora la confiabilidad, disponibilidad y control de procesos de mantenimiento, producción y calidad en activos críticos del sector defensa.

Este enfoque se fundamenta en la recopilación, tratamiento y análisis de datos operativos e históricos, lo que permite evaluar y analizar las variables que generan valor en la gestión de activos, particularmente en los sistemas principales de los buques.

La investigación emplea modelos estadísticos, para reconocimiento de patrones, construyendo escenarios dinámicos que facilitan la planeación del mantenimiento en contextos dinámicos.

La elección del enfoque también responde a la necesidad de validar indicadores como MTBMc, MTBmp, MTTR, Mp, cuya medición solo es viable mediante análisis numéricos de registros operativos.

El modelado estadístico permite proyectar escenarios hipotéticos alineados con la analítica descriptiva y diagnostica, fortaleciendo la capacidad de anticipar riesgos y definir estrategias de mantenimiento basadas en evidencia cuantitativa confiable.

Fases del Proyecto

El proyecto se estructura en cinco fases consecutivas durante un periodo de dos meses. Cada fase corresponde a un objetivo específico y está diseñada para generar productos verificables que alimentan la fase siguiente.

En la primera fase, se desarrolla la fase normativa, orientada a la revisión y análisis de estándares internacionales como la IEC 61703, UNE EN 16646, ISO 55013 y EN 15341. El propósito es identificar y sistematizar los requerimientos técnicos aplicables a la medición de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD).

En la segunda fase se lleva a cabo la caracterización de la unidad tipo, a través de la recopilación de datos históricos de operación y mantenimiento, complementados con registros de fallas, bitácoras técnicas y hojas de vida de los equipos. Esta fase permite construir una base de datos con variables críticas de CMD que sirva de insumo para la valoración posterior. El uso de esta metodología garantiza que la selección no sea arbitraria, sino sustentada en criterios técnicos e institucionales. Además, la unidad tipo funge como piloto para validar el modelo, permitiendo posteriormente su replicabilidad al resto de equipos y buques de la flota.

La tercera fase corresponde a la valoración CMD mediante modelado se aplica procesos de extracción, transformación y carga sobre la data consolidada. Con estas herramientas se obtiene una descripción y diagnóstico del sistema con base a los patrones de series en el tiempo, que sirve para estimar tendencias de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los sistemas seleccionados.

En la cuarta fase se desarrolla el análisis de diagnóstico integral de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (CMD), para identificar variables críticas, procesos relevantes y brechas frente a los lineamientos normativos establecidos en la primera fase. Este diagnóstico permite proponer acciones de mejora en el sistema de gestión de mantenimiento a nivel táctico, operacional y estratégico en la Armada, con el propósito de incrementar la confiabilidad y mantenibilidad de los activos, y en consecuencia, optimizar la disponibilidad alcanzada de las unidades estratégicas.

Finalmente, en la quinta fase se formula el diseño estratégico de la hoja de ruta para la gestión de activos navales, integra los resultados obtenidos en las fases anteriores. Este documento contiene los objetivos estratégicos y una propuesta de implementación distribuida en

tres horizontes temporales: corto, mediano y largo plazo. Con ello se busca establecer un marco metodológico sólido y replicable para la gestión de activos navales de la Armada Nacional de Colombia.

Desarrollo

Objetivo 1 Requerimientos Normativos

Definir los requerimientos normativos de la IEC 61703, UNE EN 16646⁸, ISO 55013⁹ y 15341¹⁰, reconociendo su importancia para la medición de CMD dentro de la gestión de activos.

Nivel 1 – Conocimiento Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.

La gestión de activos navales comprende la administración sistemática, coordinada y organizada de los activos estratégicos de la nación, tales como buques, submarinos, aeronaves y lanchas, con los que la Armada de Colombia ejerce operaciones en su área de responsabilidad. Su propósito esencial es maximizar el valor de estos activos a lo largo de su ciclo de vida (IAM, 2024).

A través de la Jefatura de Material Naval, la Institución gestiona una de las aristas clave de este sistema: el mantenimiento, cuya finalidad es conservar y valorizar los medios navales mediante estrategias que aseguren su disponibilidad y permitan cumplir eficazmente los objetivos estratégicos establecidos (Arata & Furlanetto, 2005).

La medición de indicadores, especialmente la disponibilidad, constituye un insumo esencial para la gestión del mantenimiento (Mesa, 2006). En la Armada de Colombia, este indicador se calcula a partir de la sumatoria ponderada de la disponibilidad de las unidades por tipo a cargo de cada Fuerza Naval (Armada de Colombia, 2022). Para ello, cada fuerza evalúa el estado (acuerdo SAP-PM) de cada unidad (buque, lancha o submarino) y determina el porcentaje que representa cada activo en relación con los demás. Finalmente, esta información se consolida y globaliza a nivel central, obteniendo así un valor ponderado global del indicador.

En la actualidad se carece de un modelo metodológico sistemático y matemático estandarizado para evaluar la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad asociadas a los sistemas navales. Aunque se han definido indicadores clave como la disponibilidad, persiste la

⁸ UNE EN 16646 Mantenimiento en la gestión de activos Físicos

⁹ ISO 55013 Guidance on the management of data assets

¹⁰ UNE EN 15341 Indicadores clave de desempeño del mantenimiento

omisión de métricas fundamentadas en métodos de análisis CMD, lo cual restringe la capacidad de implementar estrategias para la optimización del mantenimiento basado en condición y la predicción de fallos críticos (Morales, 2025).

Las organizaciones internacionales como la ISO y la IEC, junto con organismos como AENOR, han desarrollado marcos normativos que estandarizan las prácticas de mantenimiento, formulando metodologías técnicas que facilitan la comparación y mejoran la eficiencia. Dichos estándares son elaborados por expertos en comités técnicos de normalización que reúnen experiencias validadas para gestionar operaciones complejas, garantizando uniformidad y calidad en su aplicación (AENOR, 2007). Sin embargo, la proliferación de normas puede generar contradicciones conceptuales que dificulten su interpretación, por lo cual resulta fundamental mantener coherencia y credibilidad mediante el sustento científico y académico de las prácticas institucionales (Blind & Fenton, 2022)

En este contexto, el presente objetivo busca definir los requerimientos normativos de las normas IEC 61703, UNE EN 16646, ISO 55013 y EN ISO 15341, reconociendo su importancia en la medición de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) dentro de la gestión de activos navales.

Desarrollo normativo integrado

La norma IEC 61703 constituye el punto de partida técnico de este análisis. Este estándar define las expresiones matemáticas que determinan la relación entre confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, y clasifica los distintos estados operativos y de falla de un equipo. Estos estados comprenden tiempos efectivos de operación, reparación, mantenimiento preventivo, demoras administrativas (ADT) y logísticas (LDT), las cuales se agrupan bajo el concepto de Logistic Down Time (L. A. G. Mora, 2009).

La norma introduce términos (Figura 4 y 5) fundamentales como DT (Down Time), TTR (Time To Repair), CM (Corrective Maintenance), PM (Planned Maintenance) y NTTR (Net Time

To Repair), entre otros, que permiten identificar con precisión los componentes del tiempo operativo y no operativo (SGT, 2016).

La IEC 61703 propone el uso del modelo de Markov, que ofrece una aproximación práctica bajo el supuesto de tasas de transición constantes entre los estados operativo, fallado y en mantenimiento (Cabrita & Fonseca, 207d. C.). No obstante, la incertidumbre en la ocurrencia de fallas, propia de los sistemas navales, limita la validez de los modelos estadísticos convencionales (Hoseinie et al., 2018).

Figura 5

Elemento de tiempos en condiciones operativas

Tiempo en condiciones operativas [192-02-02]		
Tiempo habilitado [192-02-17]		
Tiempo operativo [192-02-05]	Tiempo no operativo [192-02-07]	
	Tiempo desocupado [192-02-15]	Tiempo en espera [192-02-13]
MUT [192-08-09]		

Nota: La imagen tomada de la norma IEC 61703, hace referencia a los tiempos en condiciones operativas (IEC, 2001).

Figura 6

Elemento del tiempo fuera de servicio

Tiempo fuera de servicio [192-02-21]						
Tiempo no operativo [192-02-07]						
Tiempo de restauración [192-07-06]						
Tiempo de mantenimiento correctivo [192-07-07]						
Retraso logístico [192-07-13]	Tiempo de mantenimiento correctivo activo [192-07-10]					
	Retraso técnico [192-07-15]	Tiempo de reparación [192-07-19]			Tiempo de detección de averías [192-07-11]	Retraso administrativo [192-07-12]
		Tiempo de localización de averías [192-07-18]	Tiempo de corrección de averías [192-07-14]	Tiempo de verificación de función [192-07-16]		
MLD [192-07-27]	MTD	MRTT [192-07-21]			MFDT	MAD [192-07-26]
	MACMT [192-07-22]					
MTTR [192-07-23]						
MDT [192-08-10]						

Nota: La imagen tomada de la norma IEC 61703, hace referencia a los tiempos en condiciones operativas que enmarca la Norma IEC 61703 (IEC, 2001). En algunos textos se manejan los siguientes acrónimos para la definición de estos tiempos:

DT - (Down Time): Tiempo no operativo.

TTR - (Time To Repair): Tiempo que demora la reparación.

CM - (Corrective Maintenance): Tiempo que demora la reparación correctiva o modificativa.

PM - (Planned Maintenance): Mantenimientos planeados (preventivo y/o predictivo).

LT - (Logistical Times): Tiempos logísticos o administrativos.

MD - (Maintenance Delays) — demoras y retrasos de mantenimiento.

ST - (Supplies Times): Tiempos de suministros de repuestos, insumos o de recursos humanos.

NTTR - (Net Time To Repair): Tiempo neto para la reparación (No incluye demoras, tiempos logísticos, tiempos de suministros ni otros tiempos exógenos que impidan la reparación) (Mora, 2009).

La norma define la disponibilidad instantánea como la probabilidad de que un activo esté en estado operativo en un tiempo t , y la indisponibilidad instantánea como la probabilidad contraria (IEC, 2001). Si bien la disponibilidad instantánea evalúa esta condición en el instante último, su cálculo no discrimina las métricas de tareas de mantenimiento preventivas de las correctivas, para la disponibilidad alcanzada se puede realizar estrategias de mejora hacia estas a actividades de mantenimiento de manera independiente (Mora, 2006).

La norma UNE-EN 16646, por su parte, amplía la mirada hacia la integración del mantenimiento dentro del ciclo de vida del activo, estableciendo que toda acción de mantenimiento debe alinearse con los objetivos estratégicos de la organización (AENOR, 2015). Este enfoque refuerza la relación entre mantenimiento, valor institucional y sostenibilidad, al considerar el desempeño técnico desde una perspectiva de gestión de activos (Fernández-Barrero et al., 2021).

En la doctrina naval el mantenimiento se reconoce como una función estratégica del poder marítimo, que incorpora metodologías orientadas al aumento de la confiabilidad y la trazabilidad técnica de los datos (Armada de Colombia, 2022).

La madurez institucional en gestión del mantenimiento se fortalece cuando las organizaciones disponen de información confiable sobre sus activos, lo que permite mejorar la priorización de recursos y la planificación operativa (Aguirre & Diaz, 2025). En este sentido, la norma UNE-EN 16646 complementa a la IEC 61703 al trasladar el enfoque matemático del CMD hacia una visión estratégica de valor y sostenibilidad institucional.

La norma EN ISO 15341 proporciona una base para evaluar cuantitativamente el aporte del mantenimiento al valor de la organización. Esta norma presenta más de 70 indicadores clave de desempeño (KPIs) distribuidos en tres ámbitos: técnico, económico y organizacional (Galar et al., 2010). Sin embargo, no todos los indicadores son adecuados para el contexto naval; por ello, es necesario seleccionar aquellos que representen con mayor fidelidad las variables de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, y que sirvan como soporte para la toma de decisiones estratégicas (UNE EN, 2020).

La confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad constituyen las principales medidas técnicas del mantenimiento, ya que se fundamentan en modelos matemáticos y estadísticos que permiten realizar un análisis integral que permite medir, controlar y mejorar el desempeño de los sistemas (Villamil, 2021). En consecuencia, la ISO 15341 permite vincular el desempeño técnico medido según la IEC 61703 con los resultados gerenciales previstos en la UNE-EN 16646, generando un puente entre la operación técnica y la gestión estratégica.

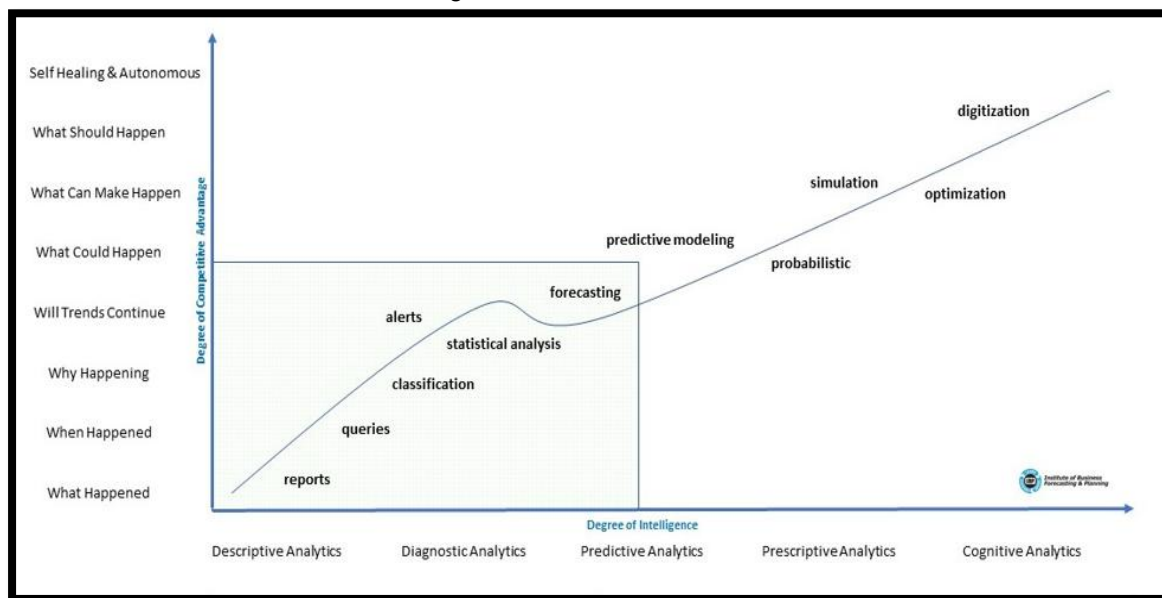
La norma ISO 55013 amplía aún más este marco al reconocer los datos como activos estratégicos dentro del sistema de gestión. Define procesos para la administración de su ciclo de vida, desde la captura, almacenamiento y transformación hasta su análisis y disposición, promoviendo la gobernanza de datos como principio fundamental de confiabilidad institucional (ISO, 2024). En el ámbito naval, esta gobernanza garantiza la trazabilidad y consistencia de la información de mantenimiento y operación, asegurando que los datos sean confiables para la medición del CMD.

El proceso de gestión de datos se apoya en métodos ETL (Extract, Transform, Load), que permiten transformar la información bruta en modelos predictivos y prescriptivos de mantenimiento orientados al cumplimiento de metas operativas (Mora, 2022). Este enfoque facilita el tránsito desde modelos descriptivos y reactivos hacia modelos predictivos y cognitivos, capaces de anticipar escenarios futuros (Wilson, 2020).

La evolución de la analítica descrita por Wilson, conocida por (Mora, 2024) evidencia una progresión desde la analítica descriptiva y diagnóstica, centrada en comprender lo ocurrido, hacia la analítica predictiva, prescriptiva y cognitiva, donde los sistemas aprenden y optimizan decisiones de forma autónoma. Esta transición es clave para la Armada de Colombia, ya que permite vincular las mediciones CMD con sistemas inteligentes de apoyo a la decisión (Melo et al., 2009).

Figura 7

Evolución de la analítica hacia la inteligencia



Nota: La figura representa la progresión de los tipos de analítica en función del grado de inteligencia y del nivel de ventaja competitiva que ofrecen. En el eje horizontal se muestra la evolución desde la analítica descriptiva y diagnóstica, centradas en comprender lo ocurrido y sus causas, hacia niveles más avanzados de analítica predictiva, prescriptiva y finalmente cognitiva, donde los sistemas son capaces de aprender, anticiparse y optimizar decisiones de manera autónoma. Tomada de (Mora, 2024)

El cumplimiento de este objetivo demuestra la relevancia de integrar en la visión gerencial los estándares internacionales aplicados a la industria productiva con analíticas descriptivas y diagnósticas, complementadas por una perspectiva científica basada en la matemática y la estadística que impulse un enfoque predictivo y prescriptivo (Crespo Márquez et al., 2017). Ambas corrientes convergen en la consolidación de una gestión de activos navales moderna, orientada a optimizar de forma sistemática la relación entre operaciones, mantenimiento y medios navales, bajo principios de eficiencia y sostenibilidad.

Esta integración normativa impacta directamente en las estrategias de mantenimiento institucional y en la medición de los indicadores definidos por la Jefatura de Material Naval, fortaleciendo la alineación entre los objetivos técnicos y los estratégicos de la Armada.

Con estos fundamentos normativos claros, el siguiente objetivo (caracterización) se orienta a identificar y analizar la información operativa y de mantenimiento de una unidad tipo de la Armada de Colombia, con el fin de conectar los requerimientos estandarizados con la realidad operacional y física de sus sistemas navales.

Objetivo No. 2 Caracterización e información

Identificar la información operativa y de mantenimiento de una unidad tipo de la Armada de Colombia, que relacione las variables que la caracterizan y que afectan la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD). **Nivel 2 - Comprensión de la Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.**

El objetivo número dos identifica la información operativa y de mantenimiento de una unidad tipo de la Armada de Colombia, la cual es insumo para la medición de las variables que de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD). La unidad seleccionada se propone como modelo piloto para validar la metodología propuesta, buscando su posterior replicación desde nivel estratégico para el resto de la flota naval una vez comprobada su efectividad técnica.

La recopilación de datos de equipo, datos de falla y datos de mantenimiento constituyen una base de información que integra los aspectos técnicos, logísticos y operativos del activo. Este proceso ayuda a cuantificar el comportamiento futuro de los equipos y generar evidencia objetiva que sustente la toma de decisiones de sostenimiento y planificación de recursos, consolidando así un marco metodológico de análisis CMD institucional (Casanova & Esther, 2023).

De acuerdo con la ISO 14224:2016, la recopilación estructurada de datos de confiabilidad y mantenimiento posibilita la comparación entre activos similares y la generación de indicadores basados en evidencia (Campos-López et al., 2019). Asimismo, la ISO 55001:2014 orienta a las organizaciones a fundamentar sus decisiones en información verificable sobre el desempeño de los activos a lo largo de su ciclo de vida (IAM, 2024). En el entorno naval, esta integración de conocimiento técnico y gestión institucional fortalece la sostenibilidad operacional y la eficiencia en el uso de recursos públicos (Aguirre & Diaz, 2025).

La selección del activo se fundamenta en la identificación y análisis del portafolio institucional de la Armada de Colombia, conforme a lo establecido en su Plan Estratégico de Gestión de Activos. Este proceso incluye una depuración metodológica orientada a filtrar aquellos

activos vinculados directamente con las funciones de combate y patrullaje, cuya operación tiene un impacto determinante en la seguridad y defensa marítima nacional.

Esta priorización responde a un enfoque de valor estratégico, donde los activos son evaluados no solo por su condición técnica o disponibilidad operativa, sino por su contribución directa a la misión esencial de control marítimo, disuasión y presencia sostenida (Work, 2004). En consecuencia, los buques de combate y las unidades de patrullaje oceánico se posicionan como activos de alta criticidad dentro del portafolio, al ser los principales garantes de la soberanía y de la respuesta ante amenazas convencionales o asimétricas en el ámbito marítimo.

La metodología de selección considera criterios definidos por la norma ISO 55001 sobre gestión de activos, combinados con principios de análisis multicriterio de valor, riesgo, costo y desempeño (BS ISO, 2024), lo que permite establecer jerarquías técnicas y funcionales basadas en evidencia. Así, se logra una alineación entre la estrategia institucional, los objetivos operativos y los requerimientos tácticos del poder naval (GFMAM, 2024).

El equilibrio en la consolidación de un portafolio de activos navales de alta y baja capacidad garantiza que los medios de alto valor estratégico se preserven para escenarios de conflicto, mientras que las unidades de patrullaje asumen las tareas de vigilancia, control del mar y cooperación marítima internacional, optimizando los recursos disponibles y fortaleciendo la eficiencia operativa del sistema naval colombiano (Tenbusch & Phillips, 2025).

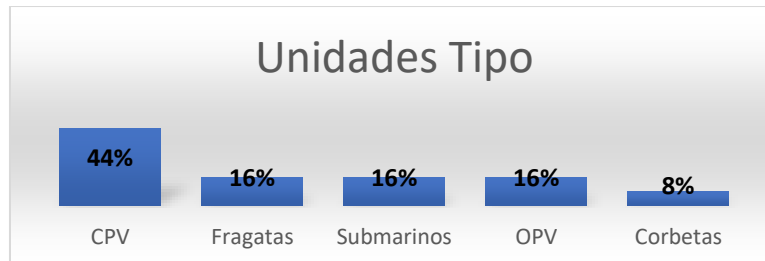
Concentrando el análisis en la cantidad de unidades por tipo, su capacidad operativa y la relevancia estratégica que estas representan en el cumplimiento de las misiones navales.

La data de la unidad seleccionada se recopila mediante fuentes de información primaria para depurarla, eliminando registros incompletos o inconsistentes y homogenizando las variables críticas. Se aplican técnicas de extracción, transformación y carga (ETL) para convertir los datos brutos en información confiable (Morales, 2025). Se extraen los registros de fallas por medio de los reportes de aviso de SAP, ordenes de mantenimientos y bitácoras, asegurando su trazabilidad y coherencia. Esta información estructurada constituye el insumo fundamental para

los análisis avanzados que permitan proyectar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los sistemas críticos.

Figura 8

Grafica porcentaje de unidades tácticas marítimas de combate y patrullaje en Colombia.



Nota: La figura muestra la cantidad de unidades operativas función táctica, que desempeñan esta función en áreas marítimas para combate y patrullaje. Los datos fueron obtenidos del *Plan Estratégico de Gestión de Activos de la Armada Nacional* y procesados por el autor en Excel, con fines analíticos y de representación visual (Jefatura de Material Naval, 2021).

La metodología integra la información procesada con los modelos estadísticos y estocásticos, preparando la base para análisis predictivo y prescriptivo. Se evalúa la efectividad de los registros y la consistencia de los indicadores de disponibilidad. Se establecen criterios de validación para garantizar que los datos generen resultados confiables al proyectarse hacia escenarios futuros. Esta integración asegura que las decisiones sobre gestión de activos se fundamenten en información estructurada, válida y aplicable a la toma de decisiones estratégicas de la Armada (Cárdenas Molina & Olguín Valenzuela, 2020).

Selección de la Unidad tipo

La unidad seleccionada para el desarrollo del presente objetivo corresponde a un Patrullero de Costa CPV¹¹ de la clase, que se adopta como unidad tipo piloto para el estudio. La elección de este tipo de buque se fundamenta en su alto impacto operativo dentro de las misiones institucionales, su frecuencia de empleo en tareas de vigilancia costera, control del mar territorial y operaciones de interdicción marítima.

¹¹ CPV Coastal Patrol Vessel

Descripción de la unidad

Las unidades tipo CPV son buques de patrulla costera diseñados para operar en zonas marítimas restringidas, con capacidades de vigilancia, interceptación, control del tráfico marítimo y apoyo a operaciones de búsqueda y rescate (Guerrero Sánchez & Cali Yambay, 2021).

Las Unidades tipo CPV Poseen una eslora entre 30 y 40 metros, un desplazamiento de 300 toneladas aproximadamente, y sistemas de propulsión mediante dos motores diésel principales con sistemas de generación eléctrica independientes. cuenta con instalaciones básicas de habitabilidad y almacenamiento de combustible y suministros, lo que les confiere flexibilidad táctica y sostenibilidad operativa dentro del mar territorial colombiano.

Estas unidades incorporan sistemas de navegación, comunicaciones y control de armas que permiten un desempeño seguro y efectivo en misiones de control marítimo, vigilancia de fronteras y apoyo logístico en zonas costeras (Cotecmar, 2025).

Las armadas de diversas naciones han incorporado en sus flotas unidades con características equivalentes a las CPV, dada su alta versatilidad operativa y costo efectividad (Button, 2008). Este proyecto contribuye directamente a la optimización de los activos destinados a la seguridad y defensa nacional, al tiempo que constituye una referencia técnica para el desarrollo de estudios comparativos y retrospectivos con otras marinas del mundo.

Taxonomía de la Unidad

La estructura jerárquica de los buques se establece mediante la adopción de la Estructura de Desglose del Trabajo del Buque Ampliada SWBS¹², siguiendo la categorización de sistemas y subsistemas propuesta por la doctrina de material naval en el Tomo II de Clasificación teniendo como guía la norma técnica MIL – STD – 3034 A (Borkowski et al., 2014). Esta permite organizar los componentes de cada unidad en grupos como casco, planta propulsora, planta eléctrica, sistemas de mando y vigilancia, sistemas auxiliares, armamento y equipamiento, generando una

¹² Ship Work Breakdown Structure

taxonomía clara y sistemática que respalda la planificación, documentación y mantenimiento de la flota (Dirección de Doctrina Naval, 2022).

La metodología estructura los registros de manera que cada sistemas y subsistema del buque tenga un código de identificación único, alineado con los criterios de criticidad y confiabilidad. Esto asegura que la base de datos de mantenimiento permita análisis precisos de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) y facilite la toma de decisiones fundamentadas a nivel operativo y estratégico (Daya & Lazakis, 2024).

Figura 9
Ejemplo estructura taxonomía de un buque

Visualizar ubicación técnica: Lista de estructura			
                                		Nivel hacia arriba	Detalles completos
Ubicación técnica	ARC0054	Válido de	28.05.2018
Denominación	ARC INDEPENDIENTE		
▼	ARC0054-200	PLANTA PROPULSORA	
▼	ARC0054-200-200	PLANIA PROPULSORA.	
▼	ARC0054-200-200-202	Sist. de control central de la planta	
▼	ARC0054-200-200-202-2021	Consolas de control de la Propulsion	
•	110011026	Sistema de vibraciones linea de ejes IMX	
•	110011028	Sistema avisador de incendios	
•	110011425	Consola Ingenieria Seccion A 111	
•	110011426	Consola Ingenieria Seccion B 112	
▼	ARC0054-200-230	MAQUINARIA PROPULSORA.	
▼	ARC0054-200-230-233	Motores propulsores combustión interna	
▼	ARC0054-200-230-233-2331	Motor Propulsores Diesel No. 1	
•	110011237	MOTOR PROPULSOR N° 1	
•	110010854	Bomba de prelubricación propulsor N° 1	
•	110011240	Precalentador propulsor N° 1	
•	110011239	Enfriador de placa propulsor N° 1	
•	110011232	Panel de operación local propulsor N° 1	
▼	ARC0054-200-230-233-2332	Motor Propulsores Diesel No. 2	
•	110011241	MOTOR PROPULSOR N° 2	
•	110011242	Bomba de prelubricación propulsor N° 2	
•	110011244	Precalentador propulsor N° 2	
•	110011243	Enfriador de placa propulsor N° 2	
•	110011233	Panel de operación local propulsor N° 2	
▼	ARC0054-200-230-233-2333	Motor Propulsores Diesel No. 3	
•	110011245	MOTOR PROPULSOR N° 3	
•	110011246	Bomba de prelubricación propulsor N° 3	
•	110011248	Precalentador propulsor N° 3	
•	110011247	Enfriador de placa propulsor N° 3	
•	110011234	Panel de operación local propulsor N° 3	
▼	ARC0054-200-230-233-2334	Motor Propulsores Diesel No. 4	
•	110011249	MOTOR PROPULSOR N° 4	
•	110011250	Bomba de prelubricación propulsor N° 4	
•	110011252	Precalentador propulsor N° 4	
•	110011251	Enfriador de placa propulsor N° 4	
•	110011235	Panel de operación local propulsor N° 4	
•	ARC0054-200-230-236	Sistemas de propulsión autónomos.	
▼	ARC0054-200-240	SIST. DE TRANSMISIÓN Y PROPULSIÓN.	

Nota: la imagen muestra la forma en que se desagrega taxonómicamente un buque. Tomado del manual de sistemas de información de mantenimiento de la Armada de Colombia (Dirección de Doctrina Naval, 2022c).

Selección del equipo a analizar

La clasificación taxonómica de activos, entendida como la organización sistemática de unidades, subsistemas y componentes en una jerarquía, constituye la base de los sistemas integrados de gestión de activos (ERP/EAM). Estándares y prácticas como ISO 14224 y las estructuras de descomposición del buque (SWBS) facilitan la asignación de códigos y la integración de la información en plataformas como SAP PM, permitiendo trazabilidad, análisis de confiabilidad y registros normalizados de mantenimiento (Pal, 2015).

Esta integración permite consolidar la información histórica de operación y mantenimiento, realizar seguimiento de indicadores de desempeño a todos los niveles de la estructura jerárquica y automatizar alertas sobre necesidades de mantenimiento preventivo y correctivo.

Figura 10
Criticidad de equipos del buque.

BUQUE		IMPACTO										REDUNDANCIA		CRITICIDAD	
GRUPO	DESCRIPCIÓN	REDUNDANCIA	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D1	D2	D3	D4	D5	D6	CRITICIDAD
100	ESTRUCTURA DEL CASCO	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
100	MAMPAROS ESTANCOS	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
100	CUBIERTAS ESTANCAS	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
100	ACCESORIOS ESTANCOS	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
100	TANQUES DE COMBUSTIBLE	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
100	TANQUES DE AGUA	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
100	TANQUES DE AGUAS RESIDUALES	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
100	TANQUE CORDERAM	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	MOTOR PROPULSOR NO 2	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	MOTOR PROPULSOR NO 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	ENGRANAJE REDUCTOR N° 2	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	ENGRANAJE REDUCTOR N° 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	EJE DE PROPULSIÓN N° 2	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	EJE DE PROPULSIÓN N° 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	MOTOR YAMAHA 40HP	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	MOTOR YAMAHA 40HP N° 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	MOTOR GENERADOR N° 2	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	MOTOR GENERADOR N° 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
300	CARGADOR DE BATERÍAS N° 2	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
300	CARGADOR DE BATERÍAS N° 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
300	TRANSFORMADOR N° 2	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
300	TRANSFORMADOR N° 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
300	UPS N° 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	NAUTEX	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	COMPRESOR PLANTA FRIGORÍFICA N° 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	SISTEMA DE EXTINCIÓN FUEGO	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	SISTEMA DE EXTINCIÓN FUEGO DE PINTURA	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	SISTEMA DE EXTINCIÓN CO2 CUARTO DE MANDO	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	SISTEMA DETECCIÓN DE INCENDIO	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	PURIFICADOR DE COMBUSTIBLE	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	PISTOLA DE AGUA N° 2	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	PISTOLA DE AGUA N° 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	TANQUE HIDROACUMULADOR	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	PISTOLA AUTOMÁTICA	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	ESTERILIZADOR UV	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	CALENTADOR DE AGUA	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	PLANTA DESALINADORA	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	ASCENSOR	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	BOTE ADMINISTRATIVO	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	BOTE VIGILANCIA	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	BALSA SALVAVIDAS N° 4	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	BALSA SALVAVIDAS N° 3	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	BALSA SALVAVIDAS N° 2	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	BALSA SALVAVIDAS N° 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	SISTEMA CATELCO	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	ALQUILERIO Y CAMARAS	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	BAÑOS Y SANTIARIOS	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	CUARTO FRÍO DE CONGELACIÓN	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	CUARTO FRÍO DE VEGETALES	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	ESPACIO PREPARACIÓN DE COMIDA	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	CASÓN DE MANDO	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1

CPV		IMPACTO										REDUNDANCIA		CRITICIDAD	
GRUPO	DESCRIPCIÓN	REDUNDANCIA	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D1	D2	D3	D4	D5	D6	CRITICIDAD
100	ESTRUCTURA DEL CASCO	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
100	MAMPAROS ESTANCOS	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
100	CUBIERTAS ESTANCAS	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
100	TANQUES DE COMBUSTIBLE	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
100	TANQUES DE AGUA	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
100	TANQUES DE AGUAS RESIDUALES	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	MOTOR PROPULSOR NO 2	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	MOTOR PROPULSOR NO 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	ENGRANAJE REDUCTOR N° 2	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	ENGRANAJE REDUCTOR N° 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	EJE DE PROPULSIÓN N° 2	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	EJE DE PROPULSIÓN N° 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	MOTOR GENERADOR N° 2	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
200	MOTOR GENERADOR N° 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
300	SISTEMA DE ARMAS	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	TRANSAS ECDIS	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	RECEPTOR RF	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	UNIDAD TRANSMISOR RECEPTORA RF	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	TELEFONO SATELITAL	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	ASIS	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	TRANSMISOR RECEPTOR RF N° 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	UMF TRSLINKING	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	UMF ARM	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	UMF MARIBO N° 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	GPI FURUNO N° 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	COMBESSEA	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	COMPAS MAGNETICO	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	GRUPO COMPAS	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	ECOSONDA PE 700	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	RADAR FURUNO FAR 5002	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	RADAR FURUNO FAR 5002	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	PLANTA DE AGUA ACONDICIONADO	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	PLANTA FRIGORIFICA	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	UNIDAD MANEJADORA	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	CABESSETE	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	BOMBA DE AGUA OLEOSAS	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	SISTEMA DETECCIÓN DE INCENDIO	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	PURIFICADOR DE COMBUSTIBLE	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	PISTOLA DE AGUA N° 2	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	PISTOLA DE AGUA N° 1	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	TANQUE HIDROACUMULADOR	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	PLANTA DESALINADORA	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	SISTEMA CATELCO	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	ALQUILERIO Y CAMARAS	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	BAÑOS Y SANTIARIOS	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	CUARTOS FRÍOS DE CONGELACIÓN	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	CUARTOS FRÍOS DE VEGETALES	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	ESPACIO PREPARACIÓN DE COMIDA	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1
400	CASÓN PRINCIPAL	RD	A	A	A	A	A	A	1	1	1	1	1	1	1

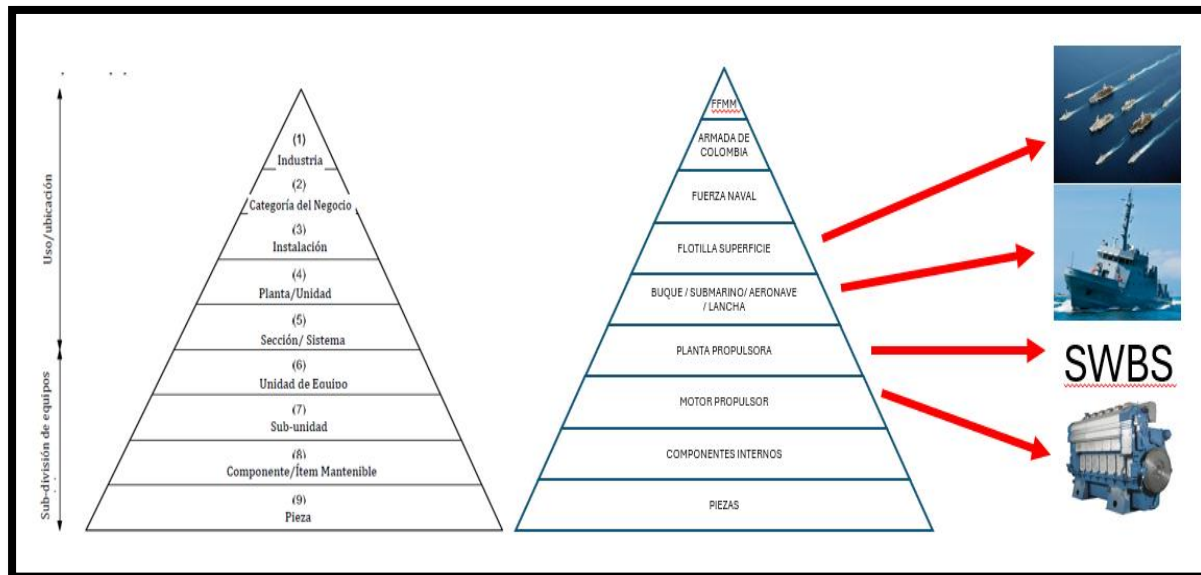
Nota: Las unidades navales cuentan con una matriz de criticidad de equipos, de acuerdo con su impacto en la operación de la unidad y su redundancia. Imagen tomada de archivos internos institucionales.

Con base en la clasificación, taxonomía y desagregación de los equipos mantenibles, se realiza una evaluación de esencialidad y criticidad orientada a determinar el impacto funcional de cada sistema dentro del activo estratégico.

En este estudio se analiza uno de dichos equipos críticos como caso representativo; sin embargo, la metodología desarrollada puede aplicarse a otros equipos críticos que inciden en la misionalidad y la disponibilidad operativa del sistema. Los motores propulsores se identifican como los componentes de mayor valor técnico y estratégico, cuya confiabilidad determina directamente la continuidad y eficacia de las operaciones del buque (Anantharaman et al., 2017)

Figura 11

Clasificación taxonómica hasta el equipo estudio



Nota: La distribución taxonómica corresponde a la distribución jerárquica de la institución hasta nivel de equipos, la imagen realiza una comparación con la norma ISO 12224 (ISO 14224 & The British Standards Institution, 2016)

El completo aprovechamiento del sistema de información garantiza que la data sea depurada y organizada, para extraerla como insumo para análisis avanzados, incluyendo modelos estadísticos y predictivos (Guo et al., 2023). La estandarización de la información en SAP y otros sistemas de integración de datos permite aplicar metodologías de mantenimiento

centrado en confiabilidad (RCM), análisis RAM y otros enfocados a mejorar la confiabilidad, reducir la mantenibilidad, aumentando por si mismo la disponibilidad de los activos navales.

La adopción de un propulsor de una unidad tipo CPV como caso piloto sienta las bases para la replicar este modelo en otras unidades de la flota, contribuyendo al alineamiento técnico-operativo de la Armada de Colombia con las mejores prácticas internacionales en gestión de activos.

La importancia de la estandarización de los datos, el uso de taxonomías jerárquicas como el SWBS y la aplicación de metodologías ETL permite asegurar la calidad y trazabilidad de la información registrada en SAP PM (Freitas et al., 2025).

Al concluir el objetivo, se determina que la identificación y caracterización de la información operativa y de mantenimiento del motor propulsor de una unidad tipo CPV permite consolidar una base para obtener un conocimiento técnico que integra las variables críticas de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD).

Objetivo No 3 Valoración CMD

Aplicar herramientas valoración de CMD a partir de la data suministrada, analizada, para integrarlas con metodologías de gobernanza de datos. **Nivel 3 - Aplicación de la Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.**

En los objetivos anteriores, la investigación identifica y caracteriza los sistemas críticos de la unidad tipo CPV conforme a las normativas y estándares de gestión de activos y mantenimiento. La estructura funcional y jerárquica de los componentes se establece bajo la taxonomía SWBS (Ship Work Breakdown Structure), mientras la información se consolida proveniente de fuentes institucionales como SAP PM, historiales técnicos de equipo y bitácoras de ingeniería garantizando trazabilidad, integridad y consistencia técnica (Mora, 2022).

En este objetivo, el estudio integra la información consolidada, a esta se le aplica metodologías de Extracción, Transformación y Carga (ETL), con el fin de analizar el comportamiento operativo del motor propulsor de la unidad tipo CPV. Este permite determinar el comportamiento de las variables de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (CMD), generando una base analítica que transforma la información del pasado en conocimiento técnico verificable (Diatte et al., 2022).

El proceso busca convertir la información dispersa de mantenimiento en un sistema estructurado de análisis que respalde la toma de decisiones estratégicas. La evaluación estadística se realiza mediante la distribución Weibull de dos parámetros (β y η), aplicada con el método de alineación de Bernard y la prueba de bondad de ajuste Kolmogórov–Smirnov, garantizando rigor metodológico en la validación de los resultados. Este enfoque establece la base técnica que sostiene los estadios descriptivo y diagnóstico de la confiabilidad operacional naval (L. A. Mora, 2024).

El proceso ETL constituye la base fundamental que integra los datos operativos con el análisis analítico del mantenimiento. La secuencia de extracción, transformación y carga permite convertir los registros técnicos dispersos en información confiable y normalizada, asegurando la

trazabilidad y consistencia de los indicadores (Souibgui et al., 2019). En el contexto naval, este proceso representa el puente entre los datos generados por la operación de los sistemas y el conocimiento estratégico necesario para la gestión del ciclo de vida de los activos.

La etapa de extracción se sustenta en la identificación de las fuentes primarias y secundarias de información de la unidad tipo CPV. Entre ellas se incluyen las bitácoras de ingeniería, las hojas de vida de equipos y los reportes técnicos de averías. Sin embargo, debido a las mismas deficiencias en la calidad del dato, la extracción directa desde SAP PM no se ejecuta de forma automatizada, lo que obliga a desarrollar un procedimiento manual de consolidación. Este proceso, aunque más lento, permite una revisión minuciosa de los datos y fortalece la comprensión del flujo técnico de información (Azeroual et al., 2019).

El trabajo manual de consolidación incrementa la posibilidad de errores humanos, pero también ofrece una oportunidad de verificación cruzada entre las fuentes. En este contexto, la extracción manual se convierte en una etapa crítica del proceso ETL, pues define la calidad de la información base para los cálculos CMD.

Durante la fase de transformación, los datos obtenidos a partir de historiales de equipos registrados manualmente y bitácoras operativas fueron organizados, depurados y normalizados. Este proceso incluyó la eliminación de duplicidades, la corrección de inconsistencias en las unidades de medida y la validación cruzada con los registros técnicos institucionales. La información resultante se estructuró bajo un formato homogéneo y compatible con el software analítico CMD++, proporcionado por el Dr. Luis Alberto Mora, lo que permitió garantizar la precisión, coherencia y trazabilidad de los indicadores de confiabilidad.

Finalmente, la fase de carga consolida la información depurada en una base analítica funcional, permitiendo la visualización de los indicadores clave como MTTR, MTBM, β (beta), η (eta) y disponibilidad alcanzada (DA). La base cargada se integra al entorno especializado del software CMD++, donde los datos se transforman en representaciones gráficas y estadísticas que facilitan el diagnóstico técnico-operativo del motor propulsor (Torres, 2016).



CMD++
PROPULSOR 1 CPV.x

Extracción de Datos desde SAP y fuentes documentales

La extracción de la información constituye la etapa más crítica dentro del proceso ETL, ya que de la calidad y completitud de los datos depende la confiabilidad del análisis posterior (Theodorou et al., 2016). En este proyecto, la información técnica proviene principalmente de las bitácoras de ingeniería de la unidad CPV, los reportes de mantenimiento registrados en SAP PM, las hojas de vida de los equipos y los informes de averías emitidos por los departamentos técnicos de la Armada. Estas fuentes garantizan respaldo documental y coherencia técnica en los registros de mantenimiento (Morales, 2025).

Figura 12
Datos de Ordenes de mantenimiento Motor Propulsor SAP PM

No Orden	Clase de orden	Fe.inic.extrema	Ubicac.técnica	Texto breve	Fecha creación	Fe.fin extrema	Fe.inicio real	Grupo planif.
120025605	ZA02	07/05/2020	ARCXXXX-200-230-233-2331	CONT. No 001 ARC - JOLA - 2020 AUT. 073	07/05/2020	19/05/2020		110
110101973	ZA01	16/06/2021	ARCXXXX-200-230-233-2331	SOL.RECURSOS PLAN MANTENIMIENTO-FNP	16/06/2021	28/06/2021		110
110104622	ZA01	29/12/2021	ARCXXXX-200-230-233-2331	2017000921FNP - CONT 004/2021 - AUT 082	26/08/2021	31/03/2022	V	110
110108672	ZA01	27/01/2022	ARCXXXX-200-230-233-2331	CONT 002-ARC-JOLA-2021 - AUT 099 - FNP	30/11/2021	19/01/2023		110
110112139	ZA01	24/02/2022	ARCXXXX-200-230-233-2331	SOL. RECURSOS PLAN MANTENIMIENTO - FNP	24/02/2022	08/03/2022		110
110112151	ZA01	11/03/2022	ARCXXXX-200-230-233-2331	2818530222FNP - CONT 002/2021 - AUT 121	24/02/2022	30/06/2022	A	110
110115253	ZA01	05/01/2022	ARCXXXX-200-230-233-2331	PLAN CARENA	25/04/2022	18/01/2022		110
110117078	ZA01	27/01/2022	ARCXXXX-200-230-233-2331	3114220522FNP - COT002/2021 AUT 195	26/05/2022	19/01/2023		110
120032222	ZA02	18/07/2022	ARCXXXX-200-230-233-2331	0720110622FNP - CONT 002/2021 - AUT 195	07/06/2022	31/08/2022	C	110
120033493	ZA02	15/11/2022	ARCXXXX-200-230-233-2331	0408391122FNP - CONT 004/2022 - AUT 033	28/10/2022	31/01/2023		110
120033649	ZA02	15/11/2022	ARCXXXX-200-230-233-2331	2414421122FNP - CONT 004/2022 - AUT 033	15/11/2022	31/01/2023		110
70110610	ZA02	02/08/2024	ARCXXXX-200-230-233-2331	2709010624FNP - CONT 001/2024 - AUT 043	24/06/2024	30/11/2024	I	110
60031591	ZA01	15/11/2024	ARCXXXX-200-230-233-2331	1808521024FNP - CONT 001/2024 - AUT 085	17/10/2024	28/12/2024		110
60042375	ZA01	01/04/2025	ARCXXXX-200-230-233-2331	1111330225FNP - CONT 005/2024 - AUT 038	11/02/2025	28/05/2025	O	110
60042379	ZA01	01/04/2025	ARCXXXX-200-230-233-2331	2109260225FNP - CONT 005/2024 - AUT 038	12/02/2025	28/05/2025		110
70125073	ZA02	29/09/2025	ARCXXXX-200-230-233-2331	2914080925FNP - CONT 002/2025 - AUT XXX	29/09/2025	29/09/2025		110
120038511	ZA02	04/09/2025	ARCXXXX-200-230-233-2331	301000092025FNP - COT0814-2-25	29/09/2025	15/09/2025		111

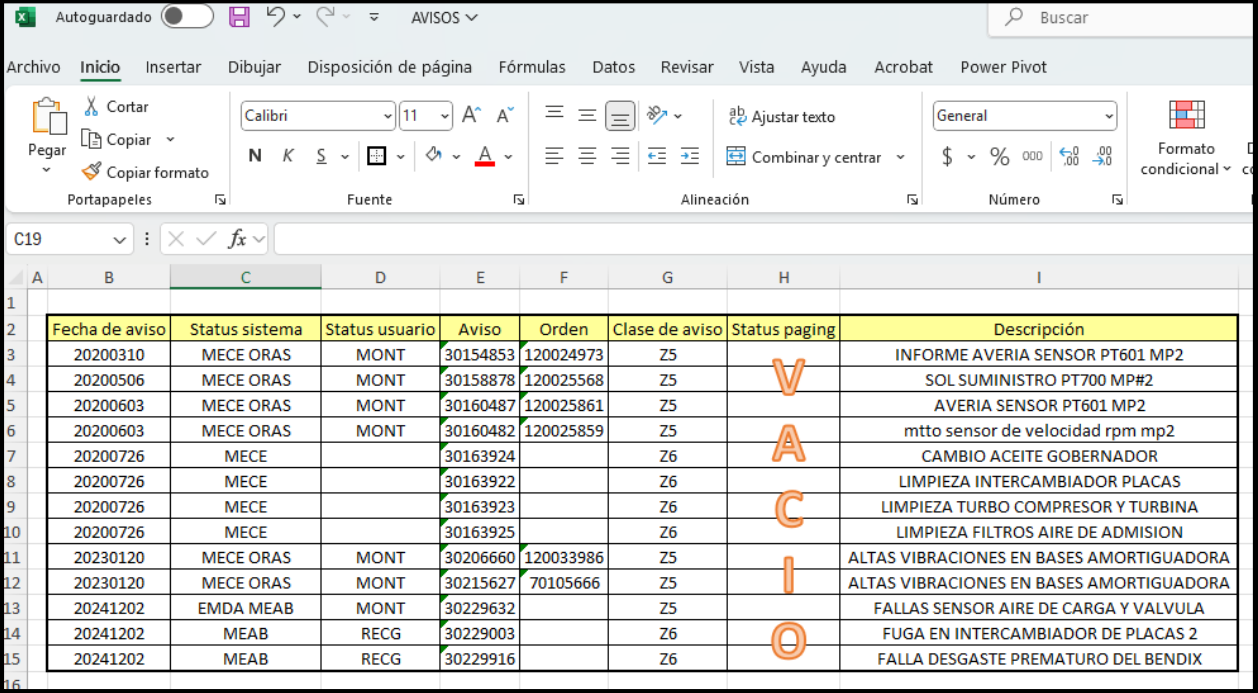
Nota: Información extraída de SAP PM, se evidencia anuencia de datos técnicos para el análisis CMD.

Debido a las limitaciones de calidad del dato que se carga por medio de avisos, ordenes de trabajo, la extracción automatizada desde SAP PM no se ejecuta de manera directa, puesto que se evidencia información faltante para ser utilizada como fuente principal en un análisis CMD.

En su lugar, se realiza una extracción manual y estructurada, consolidando los avisos de mantenimiento, las órdenes ejecutadas y los tiempos de operación mediante hojas de cálculo.

Figura 13

Datos de Avisos correspondientes a fallas (correctivos) SAP PM



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2		Fecha de aviso	Status sistema	Status usuario	Aviso	Orden	Clase de aviso	Status paging	Descripción
3		20200310	MECE ORAS	MONT	30154853	120024973	Z5		INFORME AVERIA SENSOR PT601 MP2
4		20200506	MECE ORAS	MONT	30158878	120025568	Z5	V	SOL SUMINISTRO PT700 MP#2
5		20200603	MECE ORAS	MONT	30160487	120025861	Z5		AVERIA SENSOR PT601 MP2
6		20200603	MECE ORAS	MONT	30160482	120025859	Z5	A	mtto sensor de velocidad rpm mp2
7		20200726	MECE		30163924		Z6		CAMBIO ACEITE GOBERNADOR
8		20200726	MECE		30163922		Z6		LIMPIEZA INTERCAMBIADOR PLACAS
9		20200726	MECE		30163923		Z6	C	LIMPIEZA TURBO COMPRESOR Y TURBINA
10		20200726	MECE		30163925		Z6		LIMPIEZA FILTROS AIRE DE ADMISION
11		20230120	MECE ORAS	MONT	30206660	120033986	Z5		ALTAS VIBRACIONES EN BASES AMORTIGUADORA
12		20230120	MECE ORAS	MONT	30215627	70105666	Z5	I	ALTAS VIBRACIONES EN BASES AMORTIGUADORA
13		20241202	EMDA MEAB	MONT	30229632		Z5		FALLAS SENSOR AIRE DE CARGA Y VALVULA
14		20241202	MEAB	RECG	30229003		Z6	O	FUGA EN INTERCAMBIADOR DE PLACAS 2
15		20241202	MEAB	RECG	30229916		Z6		FALLA DESGASTE PREMATURO DEL BENDIX
16									

Nota: Información extraída de SAP correspondiente a la data de fallas, se encuentra datos incompletos los cuales no son útiles para el análisis CMD.

Este procedimiento, aunque más lento, permite identificar inconsistencias en la codificación de los activos, errores de registro y duplicidades en las órdenes, los cuales se depuran antes de la transformación.

El conjunto de registros extraídos se clasifica según su tipo: avisos de mantenimiento (correctivos o preventivos), órdenes ejecutadas y horas acumuladas de operación. Esta organización permite construir la estructura de la data burda requerida para la determinación de los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD), los cuales representan la base técnica del diagnóstico estadístico posterior.

Figura 14

Data burda organizada por eventos de mantenimiento preventivo y correctivo

EVENTO	FECHA INICIO	HORA INICIO	FECHA TERMINO	HORA TERMINO	TIPO MANTENIMIENTO	DESCRIPCION MANTENIMIENTO	SISTEMA INTERVENIDO	REGISTRO EN SAP?	TIPO REGISTRO	SIRVE?	FUENTE DEL DATO	OBS
1	26/01/2020	0800R	26/01/2020	1600R	preventivo	mtto programado cambio aceite gobernador/ filtros	PLAN MTTO	NO	NINGUNO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	DATA RECOLECTADA DE HISTORIAL DEL EQUIPO
2	30/01/2020	0835R	30/01/2020	1500R	preventivo	b filtros combustible/ calibración válvulas/ sistema de control/ filtro	PLAN MTTO	NO	NINGUNO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	DATA RECOLECTADA DE HISTORIAL DEL EQUIPO
3	9/03/2020	0815R	16/03/2020	0900R	correctivo	sensores	SENSOR	SI	AVISO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	FECHA DESAJUSTADA Y DATOS INCOMPLETOS
4	24/03/2020	0800R	24/03/2020	1630R	preventivo	cambio filtro combustible	COMBUSTIBLE	NO	NINGUNO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	DATA RECOLECTADA DE HISTORIAL DEL EQUIPO
5	31/03/2020	0825R	3/04/2020	0945R	preventivo	mtto bba adosada mar// bba stand by	ENFRIAMIENTO	NO	NINGUNO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	DATA RECOLECTADA DE HISTORIAL DEL EQUIPO
6	4/05/2020	0800R	4/05/2020	1700R	correctivo	falla sensorica	SENSOR	SI	AVISO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	FECHA DESAJUSTADA Y DATOS INCOMPLETOS
7	12/05/2020	0800R	12/05/2020	1510R	preventivo	cambio filtro combustible/ sistema arranque	PLAN MTTO	SI	ORDEN	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	INCOMPLETO
8	30/06/2020	0810R	30/06/2020	1430R	correctivo	fuga aceite válvula vic / sensor	VIC	SI	AVISO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	FECHA DESAJUSTADA Y DATOS INCOMPLETOS
9	5/07/2020	0830R	5/07/2020	1130R	correctivo	mtto enfriador de placa, obstrucción y suciedad	ENFRIAMIENTO	SI	AVISO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	FECHA DESAJUSTADA Y DATOS INCOMPLETOS
10	17/07/2020	0830R	17/07/2020	1630R	preventivo	cambio filtro combustible/ sistema arranque	ARRANQUE	SI	AVISO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	PREVENTIVO CREADO COMO FALLA/ INCOMPLETO
53	6/10/2024	0900R	6/10/2024	1150R	preventivo	cambio de filtros	COMBUSTIBLE	NO	NINGUNO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	DATA RECOLECTADA DE HISTORIAL DEL EQUIPO
54	20/10/2024	0800R	20/10/2024	1700R	correctivo	falla unidad de control	SENSOR	NO	NINGUNO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	DATA RECOLECTADA DE HISTORIAL DEL EQUIPO
55	9/11/2024	0800R	9/11/2024	1100R	preventivo	cambio filtros	ACEITE	NO	NINGUNO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	DATA RECOLECTADA DE HISTORIAL DEL EQUIPO
56	12/11/2024	0900R	12/11/2024	1100R	preventivo	cambio filtros / mtto 500 horas	PLAN MTTO 500	NO	NINGUNO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	DATA RECOLECTADA DE HISTORIAL DEL EQUIPO
57	13/11/2024	1145R	13/11/2024	2035R	correctivo	falla enfriador de placas	ENFRIAMIENTO	NO	NINGUNO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	DATA RECOLECTADA DE HISTORIAL DEL EQUIPO
58	30/11/2024	0800R	30/11/2024	1100R	preventivo	cambio filtro	COMBUSTIBLE	NO	NINGUNO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	DATA RECOLECTADA DE HISTORIAL DEL EQUIPO
59	3/12/2024	0900R	3/12/2024	1100R	correctivo	falla sensor	SENSOR	SI	AVISO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	FECHA DESAJUSTADA Y DATOS INCOMPLETOS
60	12/12/2024	0800R	12/12/2024	1500R	correctivo	válvula barrido neumático	VALVULA	NO	NINGUNO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	DATA RECOLECTADA DE HISTORIAL DEL EQUIPO
61	20/12/2024	0900R	20/12/2024	2000R	correctivo	fuga intercambiador	ENFRIAMIENTO	SI	AVISO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	FECHA DESAJUSTADA Y DATOS INCOMPLETOS
62	23/12/2024	1000R	23/12/2024	1800R	correctivo	fuga intercambiador	ENFRIAMIENTO	NO	NINGUNO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	DATA RECOLECTADA DE HISTORIAL DEL EQUIPO
63	10/01/2025	0900R	4/03/2025	1000R	correctivo	motor de arranque/ enfriador de placas/	ENFRIAMIENTO	SI	AVISO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	FECHA DESAJUSTADA Y DATOS INCOMPLETOS
64	10/06/2025	0800R	11/06/2025	0800R	preventivo	mtto voluta	FUERZA	NO	NINGUNO	NO	HISTORIAL DE EQUIPO / LIBRO DE MINUTA	DATA RECOLECTADA DE HISTORIAL DEL EQUIPO

Nota: La información encontrada en historiales de equipos, bitácoras y registros propios no estandarizados de Excel, permie la extracción de los datos útiles para el análisis CMD.

La organización de la base técnica de datos constituye la transición entre la data burda y el análisis de desempeño durante el tiempo de estudio. En esta etapa, los registros se agrupan por categorías funcionales, estableciendo la relación directa entre cada evento de mantenimiento y el tiempo total asociado. Cada registro se clasifica en los ejes de análisis Confiabilidad (MTBF), Mantenibilidad (MTTR) y Disponibilidad (DA), de acuerdo con la metodología planteada (L. A. Mora, 2022).

Variables de extracción

La caracterización de las variables operativas y de mantenimiento permite establecer los insumos necesarios para el análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) de la unidad(J. Farfán, 2020). Estas variables se obtienen de fuentes primarias y secundarias institucionales, garantizando respaldo documental y consistencia. Entre las fuentes primarias se incluyen bitácoras técnicas de ingeniería, control de horas de operación de los equipos, registros en SAP PM o sistemas de control equivalentes, historial de equipos y componentes, así como

informes de averías. Esta información constituye la base para construir la base de datos que servirá de insumo al análisis CMD.

Los datos consolidados del motor propulsor se sistematizan en:

TBMc: Tiempo en horas entre mantenimientos correctivos, para lo cual se colocan los tiempos útiles de entre mantenimientos producto de reparación y corrección de falla . Aclárese que para el motor propulsor no se discriminaba los demás mantenimientos antes de la falla (tareas proactivas), entre los que se encuentra los mantenimientos predictivos y preventivos(Moubray, 2004).

TTR: tiempo en horas que dura el mantenimiento correctivo, el cual es asociado a una falla, nótese que los tiempos de reparación en muchas ocasiones son muy cortos debido a que muchas de las fallas son presentadas durante la operación del motor en mar abierto, lo cual impacta en la necesidad de solución temprana de la falla, por ende, en los tiempos de reparación, no siempre la reparación de las mismas llega a la causa raíz.

Figura 15

Tiempos Útiles entre mantenimientos correctivos.

	Fecha y Hora de Inicio	Fecha y Hora de Finalización del Tiempo útil	TIEMPOS ÚTILES NETO (Horas Decimales)	
mes 1 año 1	01 - miércoles - enero - 2020 a las 00:10 Horas (militar)	09 - lunes - marzo - 2020 a las 08:15 Horas (militar)	1640,08	UT 1
mes 3 año 1	16 - lunes - marzo - 2020 a las 09:00 Horas (militar)	04 - lunes - mayo - 2020 a las 08:00 Horas (militar)	1175,00	UT 2
mes 5 año 1	04 - lunes - mayo - 2020 a las 17:00 Horas (militar)	30 - martes - junio - 2020 a las 08:10 Horas (militar)	1359,17	UT3
mes 6 año 1	30 - martes - junio - 2020 a las 14:30 Horas (militar)	05 - domingo - julio - 2020 a las 08:30 Horas (militar)	114,00	UT 4
mes 7 año 1	05 - domingo - julio - 2020 a las 11:30 Horas (militar)	09 - miércoles - septiembre - 2020 a las 08:30 Horas (militar)	1581,00	UT 5
mes 9 año 1	12 - sábado - septiembre - 2020 a las 10:30 Horas (militar)	23 - miércoles - septiembre - 2020 a las 08:30 Horas (militar)	262,00	UT 6
	23 - miércoles - septiembre - 2020 a las 11:30 Horas (militar)	09 - miércoles - diciembre - 2020 a las 08:00 Horas (militar)	1844,50	
mes 12 año 1	10 - jueves - diciembre - 2020 a las 08:45 Horas (militar)	07 - miércoles - abril - 2021 a las 08:30 Horas (militar)	2831,75	UT 7
mes 4 año 2	07 - miércoles - abril - 2021 a las 18:30 Horas (militar)	30 - jueves - noviembre - 2023 a las 11:00 Horas (militar)	23200,50	UT 8
mes 11 año 4	30 - jueves - noviembre - 2023 a las 18:00 Horas (militar)	04 - jueves - enero - 2024 a las 09:00 Horas (militar)	831,00	UT 9
mes 1 año 5	04 - jueves - enero - 2024 a las 11:00 Horas (militar)	01 - jueves - febrero - 2024 a las 14:30 Horas (militar)	675,50	UT 10
mes 8 año 5	18 - domingo - agosto - 2024 a las 09:00 Horas (militar)	27 - martes - agosto - 2024 a las 09:00 Horas (militar)	216,00	UT 11
	27 - martes - agosto - 2024 a las 11:00 Horas (militar)	15 - domingo - septiembre - 2024 a las 08:00 Horas (militar)	453,00	
mes 9 año 5	15 - domingo - septiembre - 2024 a las 18:00 Horas (militar)	20 - domingo - octubre - 2024 a las 08:00 Horas (militar)	830,00	UT 12
mes 10 año 5	20 - domingo - octubre - 2024 a las 17:00 Horas (militar)	13 - miércoles - noviembre - 2024 a las 11:45 Horas (militar)	570,75	UT 13
mes 11 año 5	13 - miércoles - noviembre - 2024 a las 20:35 Horas (militar)	03 - martes - diciembre - 2024 a las 09:00 Horas (militar)	468,42	UT 14
	03 - martes - diciembre - 2024 a las 11:00 Horas (militar)	12 - jueves - diciembre - 2024 a las 08:00 Horas (militar)	219,00	
mes 12 año 5	12 - jueves - diciembre - 2024 a las 15:00 Horas (militar)	20 - viernes - diciembre - 2024 a las 09:00 Horas (militar)	186,00	UT 15
	20 - viernes - diciembre - 2024 a las 20:00 Horas (militar)	23 - lunes - diciembre - 2024 a las 10:00 Horas (militar)	62,00	
	23 - lunes - diciembre - 2024 a las 18:00 Horas (militar)	10 - viernes - enero - 2025 a las 09:00 Horas (militar)	423,00	
	04 - martes - marzo - 2025 a las 10:00 Horas (militar)		-1097290,00	

Nota: Data organizada con fecha y hora de tiempos útiles entre los mantenimientos que se realizan posterior a las fallas.

Figura 16

Tiempos de mantenimientos correctivos.

	TIPO ADT o LDT o TTR	Fecha y Hora de Inicio	Fecha y Hora de Finalización del Correctivo o Modificativo	TIEMPOS DE NO FUNCIONALIDAD CONDUCTENTES A CORRECTIVO Y/O MODIFICATIVO (Horas Decimales)	
mes 3 año 1	TTR	09 - lunes - marzo - 2020 a las 08:15 Horas (militar)	16 - lunes - marzo - 2020 a las 09:00 Horas (militar)	168,75	Mc 1
mes 5 año 1	TTR	04 - lunes - mayo - 2020 a las 08:00 Horas (militar)	04 - lunes - mayo - 2020 a las 17:00 Horas (militar)	9,00	Mc 2
mes 6 año 1	TTR	30 - martes - junio - 2020 a las 08:10 Horas (militar)	30 - martes - junio - 2020 a las 14:30 Horas (militar)	6,33	Mc 3
mes 7 año 1	TTR	05 - domingo - julio - 2020 a las 08:30 Horas (militar)	05 - domingo - julio - 2020 a las 11:30 Horas (militar)	3,00	Mc 4
mes 9 año 1	TTR	09 - miércoles - septiembre - 2020 a las 08:30 Horas (militar)	12 - sábado - septiembre - 2020 a las 10:30 Horas (militar)	74,00	Mc 5
	TTR	23 - miércoles - septiembre - 2020 a las 08:30 Horas (militar)	23 - miércoles - septiembre - 2020 a las 11:30 Horas (militar)	3,00	
mes 12 año 1	TTR	09 - miércoles - diciembre - 2020 a las 08:00 Horas (militar)	10 - jueves - diciembre - 2020 a las 08:45 Horas (militar)	24,75	Mc 6
mes 4 año 2	TTR	07 - miércoles - abril - 2021 a las 08:30 Horas (militar)	07 - miércoles - abril - 2021 a las 18:30 Horas (militar)	10,00	Mc 7
mes 11 año 4	TTR	30 - jueves - noviembre - 2023 a las 11:00 Horas (militar)	30 - jueves - noviembre - 2023 a las 18:00 Horas (militar)	7,00	Mc 8
mes 1 año 5	TTR	04 - jueves - enero - 2024 a las 09:00 Horas (militar)	04 - jueves - enero - 2024 a las 11:00 Horas (militar)	2,00	Mc 9
mes 2 año 5	TTR	01 - jueves - febrero - 2024 a las 14:30 Horas (militar)	18 - domingo - agosto - 2024 a las 09:00 Horas (militar)	4770,50	Mc 10
mes 8 año 5	TTR	27 - martes - agosto - 2024 a las 09:00 Horas (militar)	27 - martes - agosto - 2024 a las 11:00 Horas (militar)	2,00	Mc 11
mes 9 año 5	TTR	15 - domingo - septiembre - 2024 a las 08:00 Horas (militar)	15 - domingo - septiembre - 2024 a las 18:00 Horas (militar)	10,00	Mc 12
mes 10 año 5	TTR	20 - domingo - octubre - 2024 a las 08:00 Horas (militar)	20 - domingo - octubre - 2024 a las 17:00 Horas (militar)	9,00	Mc 13
mes 11 año 5	TTR	13 - miércoles - noviembre - 2024 a las 11:45 Horas (militar)	13 - miércoles - noviembre - 2024 a las 20:35 Horas (militar)	8,83	Mc 14
	TTR	03 - martes - diciembre - 2024 a las 09:00 Horas (militar)	03 - martes - diciembre - 2024 a las 11:00 Horas (militar)	2,00	
mes 12 año 5	TTR	12 - jueves - diciembre - 2024 a las 08:00 Horas (militar)	12 - jueves - diciembre - 2024 a las 15:00 Horas (militar)	7,00	Mc 15
	TTR	20 - viernes - diciembre - 2024 a las 09:00 Horas (militar)	20 - viernes - diciembre - 2024 a las 20:00 Horas (militar)	11,00	
	TTR	23 - lunes - diciembre - 2024 a las 10:00 Horas (militar)	23 - lunes - diciembre - 2024 a las 18:00 Horas (militar)	8,00	
mes 1 año 6	TTR	10 - viernes - enero - 2025 a las 09:00 Horas (militar)	04 - martes - marzo - 2025 a las 10:00 Horas (militar)	1273,00	Mc 16

Nota: Data organizada con fecha y hora de tiempos para reparar las fallas.

TBMp: Tiempo en horas entre mantenimientos preventivos, se toma como tiempos útiles entre las labores de servicio de mantenimientos correspondientes a labores proactivas, predictivas, preventivas, de acuerdo con los planes de mantenimiento proporcionado por el fabricante, los que se determinan de acuerdo con la condición del equipo antes de la falla.

Mp: Son los tiempos en horas de las actividades de mantenimiento que se realizan antes de la falla por parte del personal de técnicos motoristas del buque, técnicos especializados de empresas contratistas, entre otros.

Figura 17

Tiempos útiles entre tareas proactivas.

Autoguardado

Formato CMD Excel CPV (version 1) - Autorecuperado

Buscar

ArchivoInicioInsertarDibujarDisposición de páginaFórmulasDatosRevisarVistaAyudaAcrobatPower Pivot

E18: x y fx mes 2 año 2

D	E	F	G	H	I	J	K
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							
51							

Se deben completar al menos 48 meses

	Fecha y Hora de Inicio	Fecha y Hora de Finalización del Tiempo útil	TIEMPOS ÚTILES NETO (Horas Decimales)	
mes 1 año 1	01 - miércoles - enero - 2020 a las 00:10 Horas (militar)	26 - domingo - enero - 2020 a las 08:00 Horas (militar)	607,83	UT ₁
	26 - domingo - enero - 2020 a las 16:00 Horas (militar)	30 - jueves - enero - 2020 a las 08:35 Horas (militar)	88,59	
	30 - jueves - enero - 2020 a las 15:00 Horas (militar)	24 - martes - marzo - 2020 a las 08:00 Horas (militar)	1289,00	
mes 3 año 1	24 - martes - marzo - 2020 a las 16:30 Horas (militar)	31 - martes - marzo - 2020 a las 08:25 Horas (militar)	159,92	UT ₂
mes 4 año 1	03 - viernes - abril - 2020 a las 09:45 Horas (militar)	12 - martes - mayo - 2020 a las 08:00 Horas (militar)	934,25	UT ₃
mes 5 año 1	12 - martes - mayo - 2020 a las 15:10 Horas (militar)	17 - viernes - julio - 2020 a las 08:30 Horas (militar)	1577,33	UT ₄
mes 7 año 1	17 - viernes - julio - 2020 a las 16:30 Horas (militar)	04 - martes - agosto - 2020 a las 08:30 Horas (militar)	424,00	UT ₅
mes 8 año 1	05 - miércoles - agosto - 2020 a las 09:30 Horas (militar)	15 - jueves - octubre - 2020 a las 08:30 Horas (militar)	1703,00	UT ₆
mes 10 año 1	15 - jueves - octubre - 2020 a las 12:30 Horas (militar)	22 - jueves - octubre - 2020 a las 08:30 Horas (militar)	164,00	UT ₇
	23 - viernes - octubre - 2020 a las 11:45 Horas (militar)	30 - viernes - octubre - 2020 a las 08:25 Horas (militar)	164,67	
	31 - sábado - octubre - 2020 a las 10:30 Horas (militar)	25 - miércoles - noviembre - 2020 a las 08:30 Horas (militar)	598,00	
mes 12 año 1	01 - martes - diciembre - 2020 a las 09:00 Horas (militar)	20 - miércoles - enero - 2021 a las 08:00 Horas (militar)	1199,00	UT ₈
mes 1 año 2	20 - miércoles - enero - 2021 a las 11:00 Horas (militar)	08 - lunes - febrero - 2021 a las 08:00 Horas (militar)	453,00	UT ₉
	08 - lunes - febrero - 2021 a las 16:45 Horas (militar)	14 - domingo - febrero - 2021 a las 08:15 Horas (militar)	135,50	UT ₁₀
mes 2 año 2	14 - domingo - febrero - 2021 a las 11:45 Horas (militar)	23 - martes - febrero - 2021 a las 09:45 Horas (militar)	214,00	
	23 - martes - febrero - 2021 a las 14:45 Horas (militar)	26 - viernes - febrero - 2021 a las 08:30 Horas (militar)	65,75	
	27 - sábado - febrero - 2021 a las 08:30 Horas (militar)	15 - lunes - marzo - 2021 a las 09:30 Horas (militar)	385,00	
mes 3 año 2	15 - lunes - marzo - 2021 a las 11:50 Horas (militar)	18 - jueves - marzo - 2021 a las 09:00 Horas (militar)	69,17	UT ₁₁
	18 - jueves - marzo - 2021 a las 11:30 Horas (militar)	15 - jueves - abril - 2021 a las 09:00 Horas (militar)	669,50	
	16 - viernes - abril - 2021 a las 10:00 Horas (militar)	28 - miércoles - abril - 2021 a las 08:00 Horas (militar)	286,00	
mes 8 año 5	24 - sábado - agosto - 2024 a las 11:00 Horas (militar)	06 - viernes - septiembre - 2024 a las 08:30 Horas (militar)	309,50	UT ₂₅
mes 9 año 5	06 - viernes - septiembre - 2024 a las 11:30 Horas (militar)	06 - domingo - octubre - 2024 a las 09:00 Horas (militar)	717,50	UT ₂₆
mes 10 año 5	06 - domingo - octubre - 2024 a las 11:50 Horas (militar)	09 - sábado - noviembre - 2024 a las 08:00 Horas (militar)	812,17	UT ₂₇
	09 - sábado - noviembre - 2024 a las 11:00 Horas (militar)	12 - martes - noviembre - 2024 a las 09:00 Horas (militar)	70,00	UT ₂₈
	12 - martes - noviembre - 2024 a las 11:00 Horas (militar)	30 - sábado - noviembre - 2024 a las 08:00 Horas (militar)	429,00	
mes 11 año 5	30 - sábado - noviembre - 2024 a las 11:00 Horas (militar)	10 - martes - junio - 2025 a las 08:00 Horas (militar)	4605,00	
mes 6 año 6	11 - miércoles - junio - 2025 a las 08:00 Horas (militar)			*

Nota: Data organizada con fecha y hora de tiempos útiles entre los mantenimientos que se realizan antes de las fallas.

Figura 18

Tiempos de actividades proactivas.

Formato CMD Excel CPV (version 1) - Autorecuperado					Buscar				
Archivo Inicio Insertar Dibujar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda Acrobat Power Pivot									
J52									
</									

Nota: Data organizada con fecha y hora de tiempos de mantenimiento correspondiente a tareas antes de una falla.

Durante el proceso de consolidación, los datos son verificados por consistencia temporal y proporcionalidad de tiempos, asegurando que los valores de mantenibilidad y disponibilidad se correspondan con los intervalos de operación del sistema. Esta verificación permite eliminar desviaciones y valores atípicos, evitando sesgos en el análisis posterior. Conforme a lo propuesto por (L. A. Mora, 2024), la limpieza y normalización de datos técnicos resulta esencial para que el modelo CMD represente con fidelidad el comportamiento real del activo analizado.

Cálculos de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (CMD)

El análisis de los indicadores CMD se realiza mediante la aplicación de las ecuaciones que integran los tiempos de reparación y operación. Para el cálculo de la disponibilidad alcanzada, inicialmente se calcula la media de mantenimiento, integrando los tiempos de mantenimiento correctivo (MTBMc) y preventivo (MTBMp) mediante la ecuación:

$$\bar{M} = \frac{\frac{MTTR}{MTBMc} + \frac{Mp}{MTBMp}}{\frac{1}{MTBMc} + \frac{1}{MTBMp}} \quad (1)$$

La media de mantenimiento se calcula mediante la ecuación (1) porque representa una media ponderada armónica que integra los tiempos medios de reparación correctiva (MTTR) y los de mantenimiento preventivo (Mp), en función de sus respectivos intervalos medios entre mantenimientos (MTBMc y MTBMp). Este enfoque evita el error de emplear un simple promedio aritmético, ya que los eventos de mantenimiento no ocurren con la misma frecuencia ni tienen igual impacto sobre la disponibilidad alcanzada. Así, la fórmula pondera el efecto real de cada tipo de mantenimiento sobre la confiabilidad operativa del activo (Blanchard et al., 1995).

Por su parte, el tiempo medio entre mantenimientos (MTBM) constituye un indicador de frecuencia operativa. Refleja el intervalo promedio entre intervenciones de mantenimiento, sean estas correctivas o preventivas. Su valor depende de la proporción y recurrencia de ambos tipos de mantenimiento, expresándose matemáticamente como:

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} \quad (2)$$

Estos indicadores permiten evaluar la eficiencia de las intervenciones y su impacto en la disponibilidad del sistema.

La disponibilidad alcanzada (Achieved) se centra en los aspectos proactivos del mantenimiento, incluyendo las acciones preventivas, predictivas, planificadas y correctivas, y se calcula para proporcionar una evaluación más realista del desempeño operativo.

Este indicador se recomienda para organizaciones que presentan deficiencias en el mantenimiento proactivo y representa la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente en cualquier momento bajo condiciones normales de operación y un entorno ideal de soporte logístico, sin considerar retrasos logísticos o administrativos. En sus cálculos se incluyen los tiempos imputables a las actividades de mantenimiento planificadas, además de las acciones correctivas inherentes o intrínsecas, aplicando la fórmula:

$$D_A = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}} \quad (3)$$

La disponibilidad alcanzada recomendada para organizaciones con sistemas mixtos de mantenimiento evalúa la capacidad de la planta propulsora para mantenerse operativa sin tener en cuenta las interrupciones logísticas o administrativas (Mora, 2022), a su vez, permite evaluar el impacto de las estrategias de mantenimiento proactivo y correctivo, proporcionando información clave para la planificación, priorización de recursos y toma de decisiones operativas.

El procesamiento de los datos en el software CMD++ permite calcular de manera automatizada los indicadores y generar los modelos de comportamiento de las variables β y η . A partir de los registros integrados del motor propulsor, la disponibilidad alcanzada supera el 98 %, lo que evidencia un sistema en régimen maduro que se estabiliza en el último periodo. La

validación estadística de estos resultados se desarrolla mediante el ajuste de los datos a la distribución Weibull de dos parámetros, utilizando el método de alineación de Bernard y la prueba de bondad de ajuste Kolmogórov–Smirnov, garantizando la validez del modelo (Nelson, 1982).

La integración analítica promueve el uso de la información como soporte directo a la toma de decisiones. Los datos organizados se transforman en conocimiento estratégico. Mediante la correlación de variables operativas y de mantenimiento se considera la información como recurso nuclear del negocio y fuente de ventaja competitiva sostenible (Power, 2017).

La implementación de un modelo estructurado de extracción, tratamiento y carga de datos fortalece la capacidad institucional para analizar el desempeño de los activos y sustentar decisiones estratégicas de sostenimiento basadas en evidencia (Fana et al., 2021).

El análisis evidencia brechas significativas en la carga inicial de los datos técnicos, originadas por registros incompletos y falta de estandarización, lo que afectó el proceso de tratamiento y redujo la calidad de la información utilizada para la toma de decisiones. Esta deficiencia impacta la calidad de los cuadros de control del Business Intelligence BI institucional., lo cual constituye un insumo clave para la implementación de la hoja de ruta propuesta en los siguientes objetivos.

La integración metodológica ETL y CMD fortalece la capacidad analítica de la investigación, permitiendo transformar datos técnicos en conocimiento de gestión. Este enfoque posibilita la identificación temprana de tendencias de desgaste, la programación de mantenimientos predictivos y la priorización de recursos técnicos conforme al estado real del sistema. En consecuencia, el objetivo técnico se cumple satisfactoriamente al proporcionar una visión integral del desempeño del motor propulsor bajo criterios científicos de confiabilidad y estadística aplicada (Antomarioni et al., 2023).

De esta manera, la investigación evoluciona desde el diagnóstico descriptivo hacia la inteligencia analítica diagnóstica, consolidando un sistema de mantenimiento proactivo sustentado en evidencia cuantitativa. Este avance representa un paso decisivo hacia la

implementación de la gestión predictiva basada en datos, alineada con las mejores prácticas internacionales de mantenimiento naval y con los lineamientos de sostenibilidad operativa definidos por la Armada de Colombia.

Objetivo No. 4 Diagnostico

Analizar los resultados obtenidos en la valoración de CMD, definiendo las variables críticas, las actividades relevantes y los procesos influyentes en la gestión de activos y en mantenimiento. **Nivel 4 - Análisis de la Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.**

El presente objetivo analiza e interpreta los resultados derivados del procesamiento estadístico CMD del motor propulsor de la unidad tipo CPV. A partir de la información consolidada mediante el proceso ETL que se desarrolla en el objetivo anterior, se ejecuta un estudio integral de las variables de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (CMD) aplicando herramientas de análisis estadístico como la distribución de Weibull de dos parámetros, el método de alineación de Bernard y la prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov–Smirnov.

Este análisis permite identificar las variables críticas, las actividades de mantenimiento más influyentes y los procesos determinantes en la gestión de activos, generando una comprensión técnica profunda del comportamiento del sistema propulsor (Mora, 2024).

Análisis Estadístico Weibull y Validación del Modelo

El análisis estadístico se desarrolla utilizando la distribución Weibull de dos parámetros, reconocida en ingeniería de confiabilidad por su capacidad para modelar los tiempos entre fallas y describir el comportamiento de desgaste de los componentes. Este modelo caracteriza la probabilidad de supervivencia y la tasa de fallas del motor propulsor en función de los parámetros β (beta), que define la forma de la distribución, y η (eta), que expresa la vida característica o tiempo medio esperado antes de la falla (McLinn, 2010).

La aplicación del modelo Weibull al conjunto de datos procesados ofrece una representación probabilística precisa del desempeño técnico del sistema. El software CMD++ ajusta la base depurada mediante el método de alineación de Bernard, transformando los valores observados en una recta teórica que permite verificar visualmente la linealidad del ajuste. Este proceso facilita la estimación precisa de β y η , así como el coeficiente de determinación R^2 , asegurando la confiabilidad estadística del modelo (Mora, 2022).

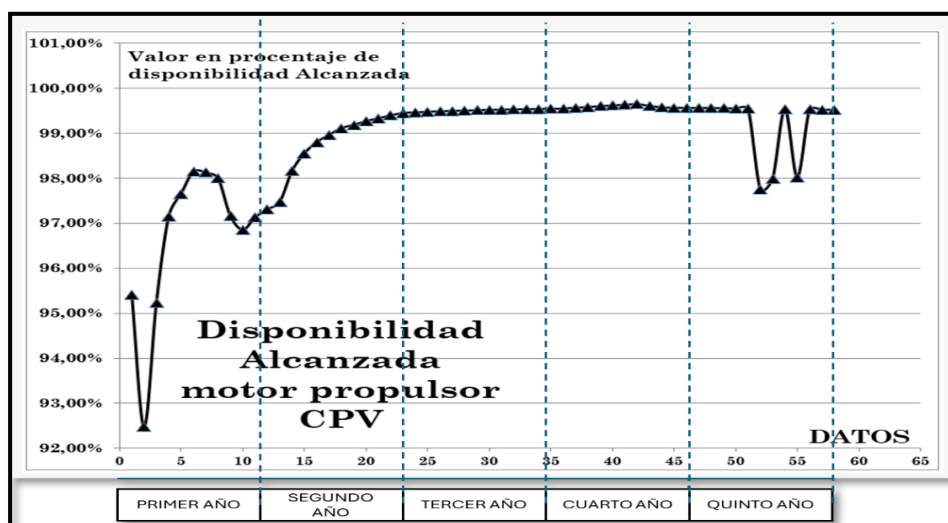
El método aplica la prueba de bondad de ajuste Kolmogórov–Smirnov, la cual valida la pertinencia del modelo al comparar la distribución teórica con los datos observados. Si el valor de p supera 0.05, el modelo se considera adecuado para representar el comportamiento de confiabilidad del sistema. Los resultados confirman $\beta \approx 1.07$ y $\eta \approx 3\,600$ horas, lo que refleja un régimen operativo estable, característico de sistemas maduros con políticas preventivas eficientes (Parsons & Wirsching, 1982).

Estadio Descriptivo

El estadio descriptivo constituye la primera fase interpretativa del análisis CMD. En este nivel se caracterizan las tendencias históricas del sistema mediante las variables de mantenibilidad integral (M), tiempo total acumulado (TT) y disponibilidad alcanzada (DA), extraídas de SAP PM y bitácoras de ingeniería (Torres, 2016).

Durante el periodo analizado, la disponibilidad promedio supera el 98 %, validando la eficacia del mantenimiento preventivo. Entre los datos 20 y 45, los valores alcanzan el 99.5 %, reflejando equilibrio entre operación y mantenimiento. Los primeros registros (<96 %) corresponden a ajustes técnicos iniciales posteriores a intervenciones mayores, mientras que las fases intermedias exhiben estabilidad funcional comprobada en los registros SAP.

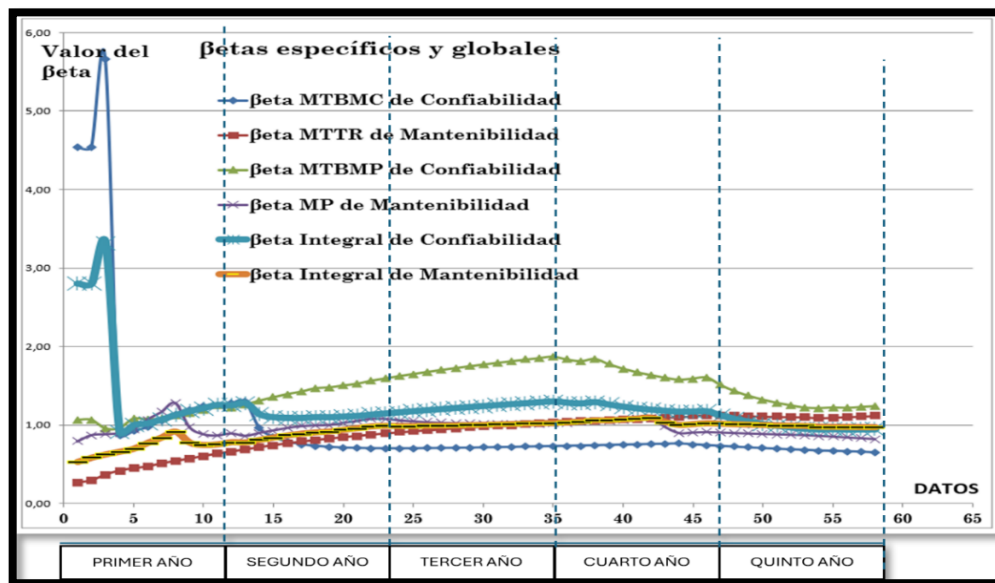
Figura 19
Grafica Disponibilidad Alcanzada



Nota: La curva evidencia un inicio inestable por ajustes de arranque, seguido de una estabilización progresiva hacia niveles superiores al 99 %.

Este comportamiento confirma una fase de madurez técnica, sostenida por rutinas estandarizadas y control de fallas menores. Hacia el final del ciclo, se aprecia una ligera caída atribuible a desgaste natural de componentes críticos, sin comprometer la confiabilidad general del sistema.

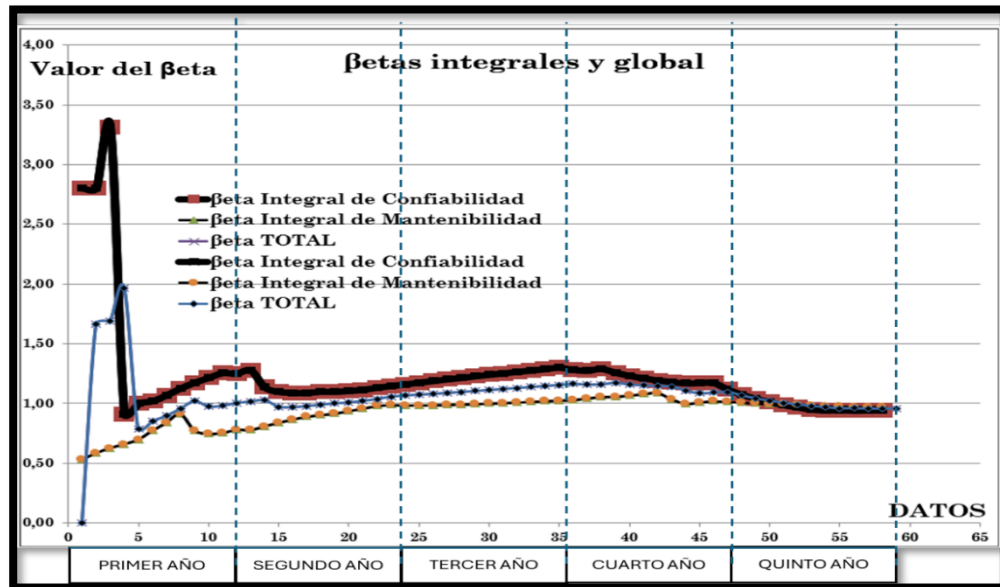
Figura 20
Grafica de Betas específicos y Globales



Nota: La grafica integra el comportamiento de todos los Betas durante los años de estudio, ellos se estabilizan al final del quinto año.

La figura 20 describe como los valores de Beta se estabilizan alrededor de 1, durante las primeras etapas el comportamiento del parámetro demuestra inestabilidad en los tiempos útiles entre correctivos mejorando drásticamente estabilizándose en valores cercanos a 1.

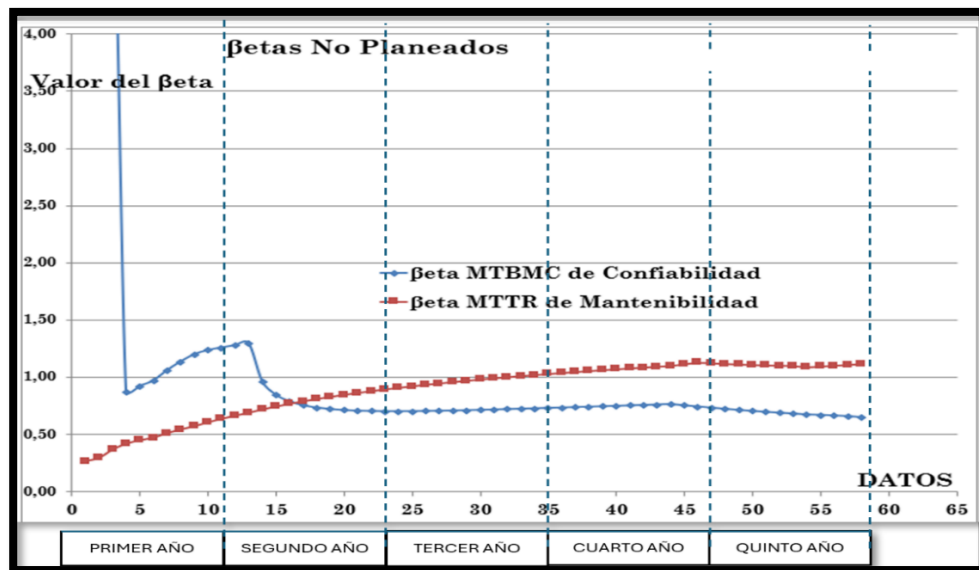
Figura 21
Grafica Betas Integrales y Beta total



Nota: la gráfica muestra el comportamiento de los betas integrales e Confiabilidad y mantenibilidad.

Los β Integrales y Globales indican una variación general durante el primer año, estabilizándose en el quinto año, lo cual indica que es posible implementar estrategias a un sistema maduro y estable.

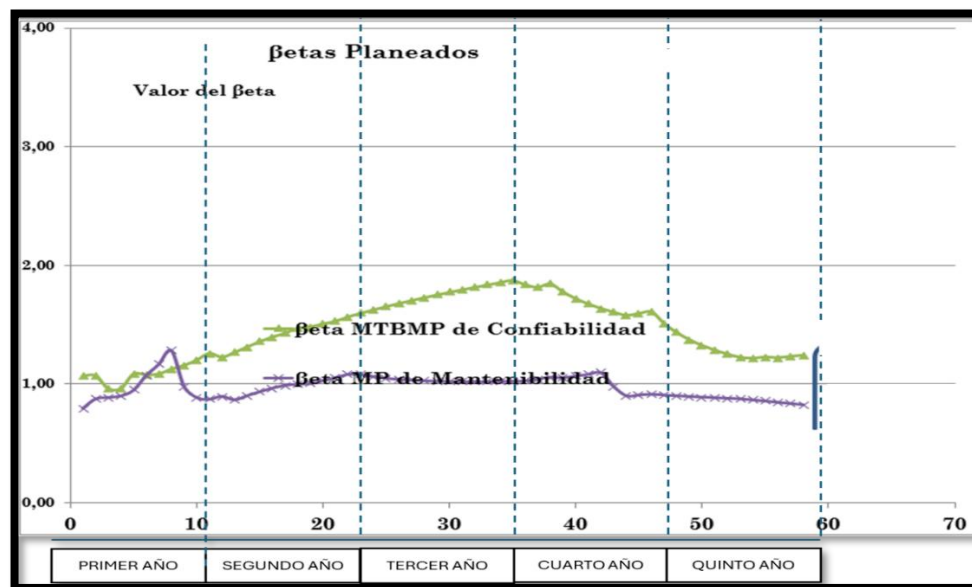
Figura 22
Grafica Betas No Planeados



Nota: la gráfica individualiza los Betas de Confiabilidad y Mantenibilidad respecto a los tiempos relacionados con los mantenimientos correctivos.

Los β correspondiente a las acciones de mantenimiento correctivos indican que los tiempos de reparación a partir del tercer año se acercan al valor de 1, situación que no es favorable, por el contrario, los valores de beta de tiempo útiles entre mantenimiento correctivos se toman valores menores a 1, esto indica una mejora en los tiempos útiles entre correctivos a partir del segundo año.

Figura 23
Grafica Betas Planeados



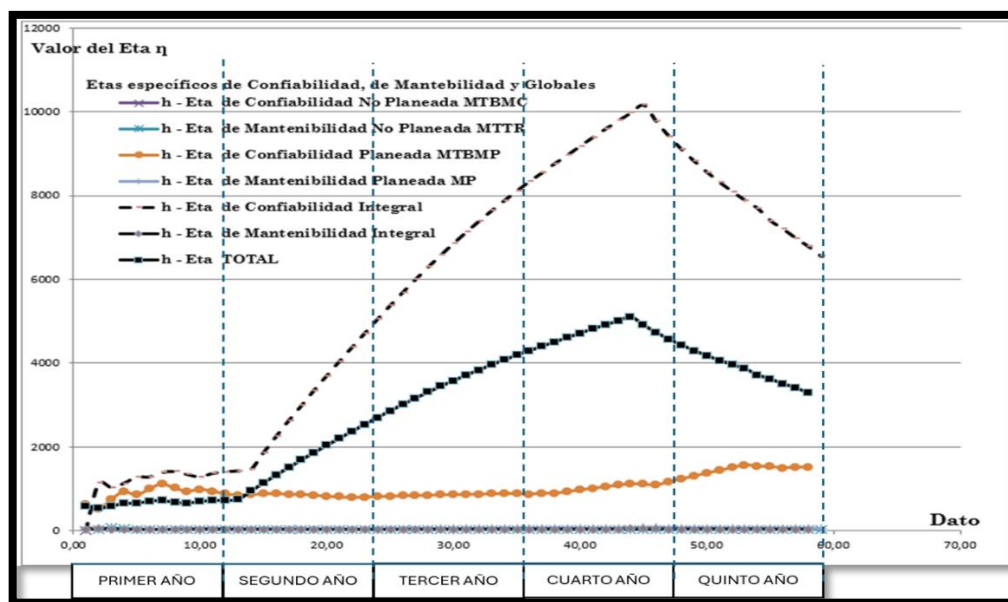
Nota: la gráfica individualiza los Betas de Confiabilidad y Mantenibilidad respecto a los tiempos relacionados con los mantenimientos preventivos.

Respecto a los parámetros de forma β asociados a los mantenimientos preventivos, se observa que el β de confiabilidad presenta una tendencia de mejora progresiva hasta el tercer año, reflejando un aumento en los tiempos útiles entre mantenimientos. No obstante, durante el cuarto y quinto año esta tendencia se revierte, evidenciando una pérdida de efectividad en la planificación preventiva. Al cierre del quinto año se percibe una ligera recuperación, posiblemente vinculada a la estabilización operativa o a ajustes recientes en los planes de mantenimiento, lo cual sugiere un potencial de mejora si se incrementa la eficiencia y oportunidad de las intervenciones preventivas.

Por otro lado, el β correspondiente a los tiempos de mantenimiento preventivo (MTTRp) se mantiene en valores inferiores a 1, cuando idealmente debería ser considerablemente mayor a 1, dado que este parámetro está asociado al grado de control y eficacia de las acciones proactivas. Este comportamiento indica que no se ha alcanzado una mejora significativa en los tiempos de ejecución del mantenimiento, y que en el último año incluso no se evidencia recuperación alguna. En términos prácticos, el mantenimiento preventivo se está comportando de forma reactiva, afectando la disponibilidad global del sistema.

Por tanto, se hace necesario implementar estrategias orientadas a optimizar la duración de los mantenimientos preventivos y su sincronización con los tiempos útiles de operación. Esto puede lograrse mediante una revisión de los intervalos de intervención, una mejor priorización de tareas críticas y la incorporación de herramientas predictivas que permitan transformar la actual tendencia reactiva en una gestión verdaderamente proactiva y eficiente.

Figura 24
Gráficas Eta integrales y total



Nota: La grafica registra el comportamiento de los parámetros Etas totales.

El análisis de los valores del parámetro η (eta) obtenidos para las distintas categorías de confiabilidad y mantenibilidad evidencia la evolución del comportamiento de fallas del motor propulsor a lo largo del ciclo de observación.

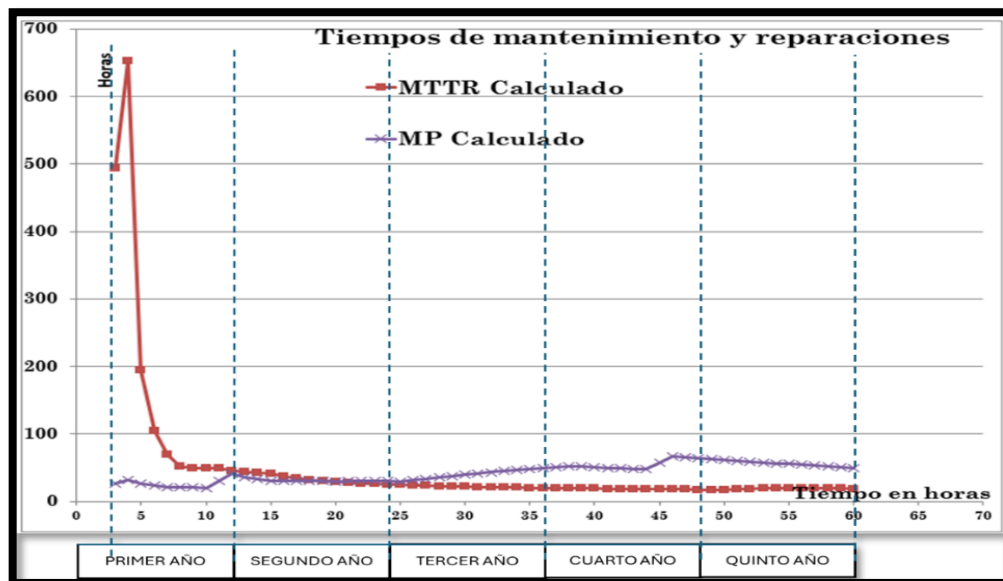
Durante los primeros años, los valores de η se mantienen bajos, lo que refleja una fase inicial de ajustes operativos y correcciones tempranas asociadas a la etapa de “mortalidad infantil” del sistema, donde las fallas se presentan con mayor frecuencia y menor severidad. A medida que transcurren los años segundo y tercero, se observa un incremento sostenido de η , lo que indica un aumento en el tiempo característico entre fallas y, por tanto, una mejora en la confiabilidad y estabilidad operacional del conjunto. Este comportamiento sugiere que las acciones de mantenimiento preventivo y correctivo aplicadas fueron efectivas en estabilizar el sistema y prolongar su vida útil.

No obstante, hacia el cuarto y quinto año, el descenso progresivo de los valores de η revela la transición hacia la fase de desgaste, donde los componentes comienzan a evidenciar fatiga y degradación acumulada, incrementando la probabilidad de falla. En términos de confiabilidad, esta tendencia corresponde a una distribución Weibull con $\beta > 1$, típica de sistemas maduros que ingresan en su etapa de envejecimiento (Dhillon, 2006; Smith, 2017).

En consecuencia, el análisis de los valores de η permite no solo cuantificar la vida característica de los componentes, sino también diagnosticar el estado de salud del sistema y anticipar la necesidad de estrategias de sostenimiento orientadas al reemplazo o rediseño de elementos críticos (Blanchard, 1995).

Figura 25

Grafica Tiempos de mantenimiento y reparaciones.



Nota: La grafica muestra la evolución de los tiempos medios de reparación (MTTR) y de mantenimiento preventivo (MP) a lo largo de un periodo de cinco años. En los dos primeros años se observa que el MTTR presenta valores considerablemente elevados, superando ampliamente los tiempos destinados a mantenimiento preventivo.

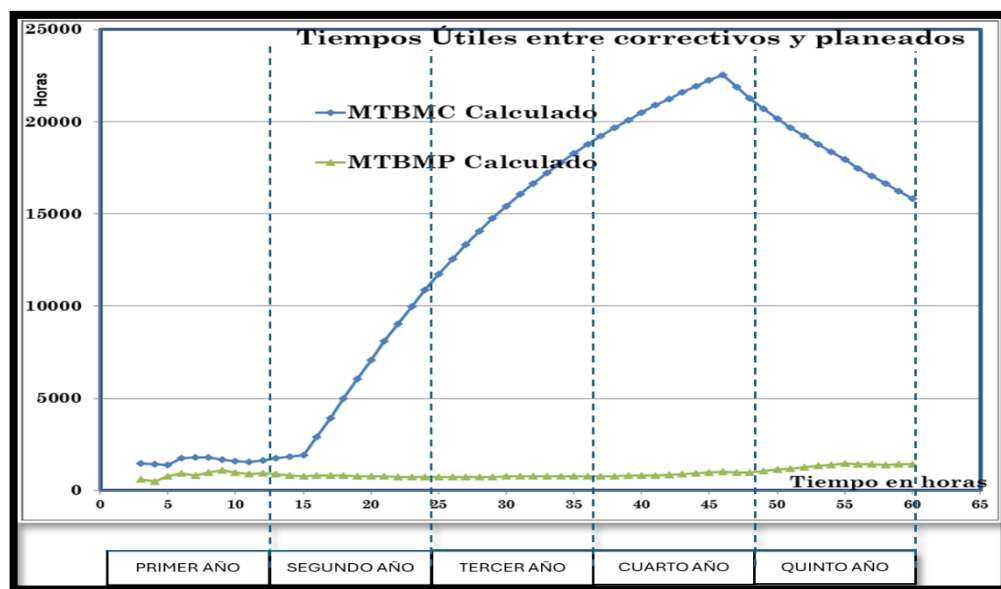
Este comportamiento inicial refleja una etapa de ajuste operacional y corrección de fallas tempranas, en la cual las intervenciones correctivas son más frecuentes y demandan mayor tiempo de ejecución. Según Smith (2017), esta condición es típica en sistemas que atraviesan su fase de “mortalidad infantil”, caracterizada por la ocurrencia de fallas asociadas a defectos de instalación, ajustes o diseño.

A partir del segundo año, se aprecia una reducción progresiva y sostenida del MTTR, lo que evidencia una mejora en la mantenibilidad del sistema. Esta tendencia sugiere que el personal técnico ha optimizado sus procedimientos de diagnóstico, reparación y disponibilidad de repuestos, reduciendo significativamente los tiempos de parada no planificada. Paralelamente, los tiempos de mantenimiento preventivo (MP) presentan una tendencia de estabilización y leve incremento, lo que puede interpretarse como una consolidación de rutinas de inspección y cuidado sistemático del activo. Este equilibrio entre el mantenimiento correctivo

y preventivo es clave para la madurez del sistema, ya que permite mantener la confiabilidad operativa a través de estrategias proactivas de sostenimiento (Dhillon, 2006).

En el quinto año, ambos indicadores tienden a estabilizarse, alcanzando un punto de eficiencia relativa. Sin embargo, se observa que el mantenimiento preventivo aún presenta mayores tiempos acumulados que el correctivo, lo que indica la necesidad de ajustar la planificación de tareas preventivas, priorizando aquellas que aporten mayor valor a la confiabilidad del sistema. De acuerdo con Blanchard (1995), el propósito de un programa de mantenimiento preventivo eficaz no es aumentar el tiempo de intervención, sino reducir la probabilidad de fallas no planificadas mediante acciones oportunas y optimizadas. Por tanto, aunque el sistema demuestra un progreso notable en su desempeño mantenible, aún existen oportunidades de mejora en la gestión del mantenimiento planificado, orientadas a la optimización de recursos técnicos y la reducción de tiempos improductivos.

Figura 26
Grafica Tiempos Útiles



Nota: La grafica demuestra el comportamiento de los tiempos útiles entre mantenimientos, el la grafica se identifica la diferencia entre los tiempos entre correctivos y entre preventivos.

En cuanto a los tiempos útiles entre mantenimientos, se describe el comportamiento del MTBMc y el MTBMP durante cinco años. En los primeros años, ambos valores son bajos,

reflejando una alta frecuencia de intervenciones y un sistema en proceso de estabilización. A partir del segundo año, el MTBMc aumenta de forma sostenida hasta alcanzar su máximo en el cuarto año, lo que indica una reducción significativa de las fallas correctivas y una mejora en la confiabilidad operativa (Dhillon, 2006). Por el contrario, el MTBMp se mantiene casi constante, evidenciando la regularidad de las actividades planificadas.

Hacia el quinto año, se observa una leve disminución del MTBMc, que sugiere el inicio de la fase de desgaste de los componentes, coherente con una distribución Weibull de parámetro $\beta > 1$ (Smith, 2017). En conjunto, los resultados demuestran una evolución positiva del sistema en términos de confiabilidad, aunque con señales de deterioro que justifican la optimización de las estrategias de mantenimiento preventivo (Blanchard, 1995).

Estadio Diagnóstico

El estadio diagnóstico representa la fase analítica en la cual se interpretan los resultados estadísticos en función del comportamiento físico y funcional del sistema. Aquí se correlacionan los parámetros β y η obtenidos de la distribución Weibull con los indicadores operativos CMD, determinando el nivel de madurez técnica del motor propulsor (Nelson, 1982).

Curva de Confiabilidad

La siguiente gráfica representa la curva de confiabilidad o función de supervivencia $R(t)$ asociada al motor propulsor, obtenida mediante el modelo Weibull de dos parámetros, ajustado con el método de alineación de Bernard y validado por la prueba de Kolmogórov–Smirnov ($p = 0.5068$). Este valor confirma que el modelo se ajusta adecuadamente a los datos, indicando una representación estadísticamente válida del comportamiento del sistema (Nelson, 2004; Mora, 2022).

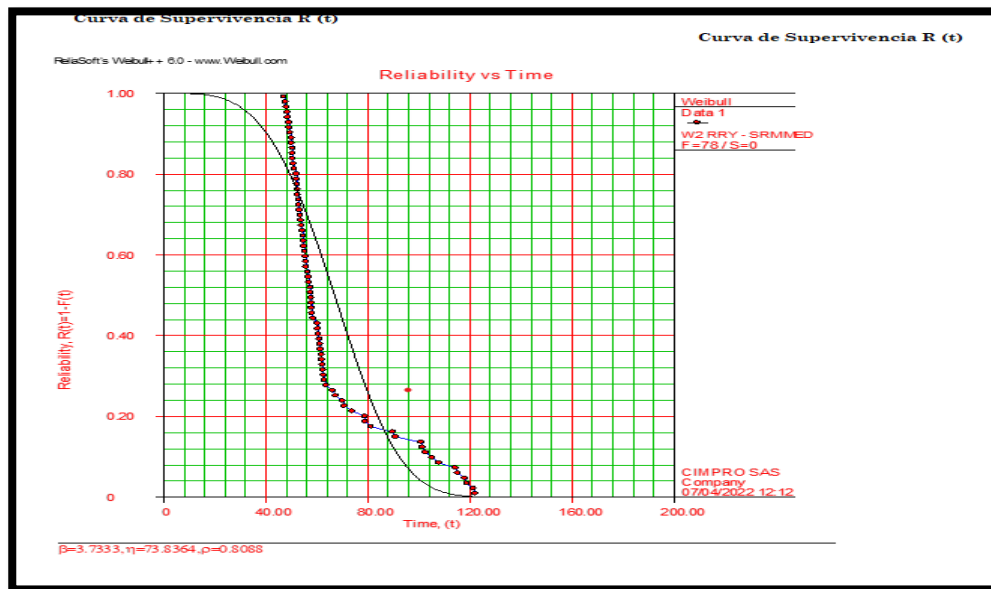
El parámetro de forma $\beta = 3.733$ indica una tasa de fallas creciente, característica de una fase de desgaste. Por ende, la probabilidad de falla aumenta con el tiempo, lo que refleja un sistema que ha superado la etapa de madurez operativa y entra en una fase donde los componentes comienzan a degradarse. Este resultado sugiere que los mecanismos de falla

están asociados principalmente al agotamiento de vida útil de los elementos críticos del motor propulsor.

El parámetro de escala $\eta = 73.864$ h representa el tiempo al cual la confiabilidad del sistema se reduce al 36.8 %. Este valor expresa que el activo mantiene una probabilidad de funcionamiento confiable durante las primeras 74 horas de operación, antes de que las fallas comiencen a manifestarse con mayor frecuencia.

En la gráfica, la curva $R(t)$ desciende de forma continua desde 1.0 hasta 0.0 a medida que el tiempo avanza, lo cual indica la pérdida progresiva de confiabilidad. Entre los intervalos de 40 y 80 horas se observa el tramo de pendiente más pronunciada, asociado a la mayor concentración de fallas. Este comportamiento define la zona crítica de desgaste acelerado, donde deben concentrarse las estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo.

Figura 27
Curva de Confiabilidad



Nota: La interpretación integral muestra que el sistema analizado se encuentra en una etapa avanzada del ciclo de vida, donde las acciones de mantenimiento deben orientarse hacia la reingeniería de componentes asociados a fallos recurrentes y la implementación de técnicas de monitoreo de condición (Mora, 2022).

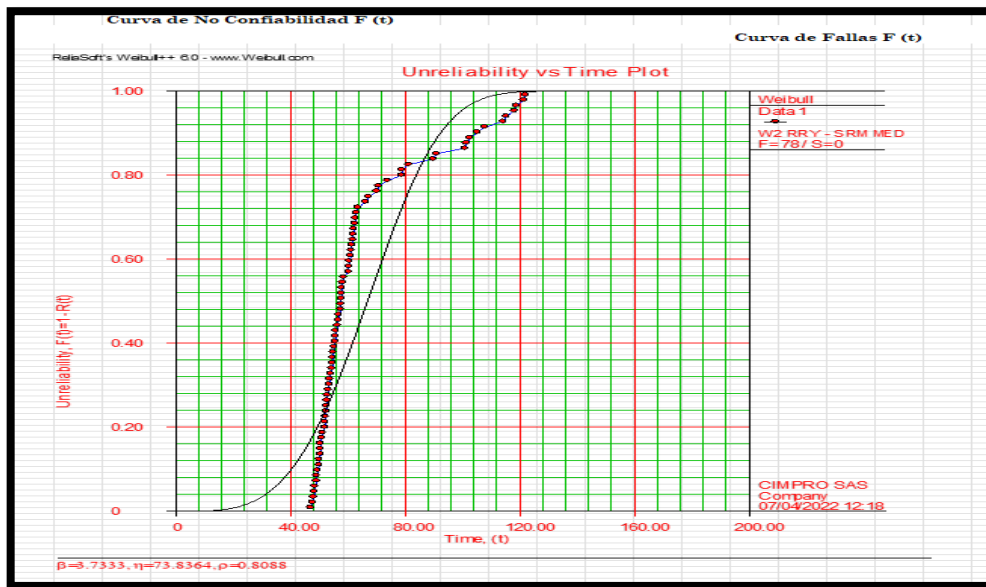
Curva de No Confiabilidad

La curva de no confiabilidad permite visualizar directamente la velocidad a la que se acumulan las fallas, fortaleciendo el estadio diagnóstico al correlacionar el comportamiento matemático con la realidad física del motor propulsor.

La gráfica corresponde a la curva de no confiabilidad $F(t) = 1 - R(t)$ del motor propulsor, correlaciona con la gráfica referente a la curva de confiabilidad, donde se confirma que la probabilidad acumulada de falla aumenta rápidamente con el tiempo, lo cual refleja que los mecanismos de deterioro superan los beneficios producidos por el mantenimiento preventivo, evidenciando la transición hacia un régimen de fatiga o envejecimiento técnico.

El parámetro de escala $\eta = 73.864$ h, que representa el tiempo en el cual el sistema ha acumulado el 63.2 % de las fallas esperadas, sitúa el comportamiento del motor en un dominio donde las fallas comienzan a intensificarse luego de ese umbral.

Figura 28
Curva de No Confiabilidad



Nota: En la gráfica, la zona comprendida entre 40 y 80 horas exhibe el ascenso más pronunciado de $F(t)$, lo que revela el intervalo crítico donde las fallas aumentan con mayor rapidez. Este segmento se convierte en un referente clave para reprogramar mantenimientos preventivos y refinar las actividades de inspección técnica.

Curva de contorno β beta – η eta

Este tipo de gráfico es fundamental en la ingeniería de confiabilidad, ya que proporciona una visión simultánea del comportamiento de los dos parámetros críticos del modelo Weibull. Su lectura permite establecer zonas de operación seguras y definir intervalos de intervención que minimicen el crecimiento exponencial de la no confiabilidad. Además, el contorno facilita la articulación entre la estadística del modelo y la realidad física del sistema, soportando decisiones orientadas a la planificación estratégica del mantenimiento.

La gráfica de contorno β - η representa la relación simultánea entre el parámetro de forma β y el parámetro de escala η derivados del modelo Weibull de dos parámetros ajustado a la data del motor propulsor. Esta permite visualizar las regiones de combinación más probables de ambos parámetros, así como los niveles de confianza estadística asociados al ajuste. El modelo presenta un valor $\beta = 3.6817$ y $\eta = 34.4174$ h.

El contorno ovalado muestra la zona donde ocurren las combinaciones más factibles de β y η en función del conjunto de datos, lo cual permite identificar la variabilidad inherente del sistema. El contorno se presenta relativamente compacto, lo que indica baja dispersión y una fuerte consistencia de los datos respecto al modelo Weibull.

La concentración de las curvas de confianza (98 %, 97 %, 96 %) demuestra que los valores estimados de β y η poseen estabilidad estadística, reforzando la certeza en la interpretación de los parámetros.

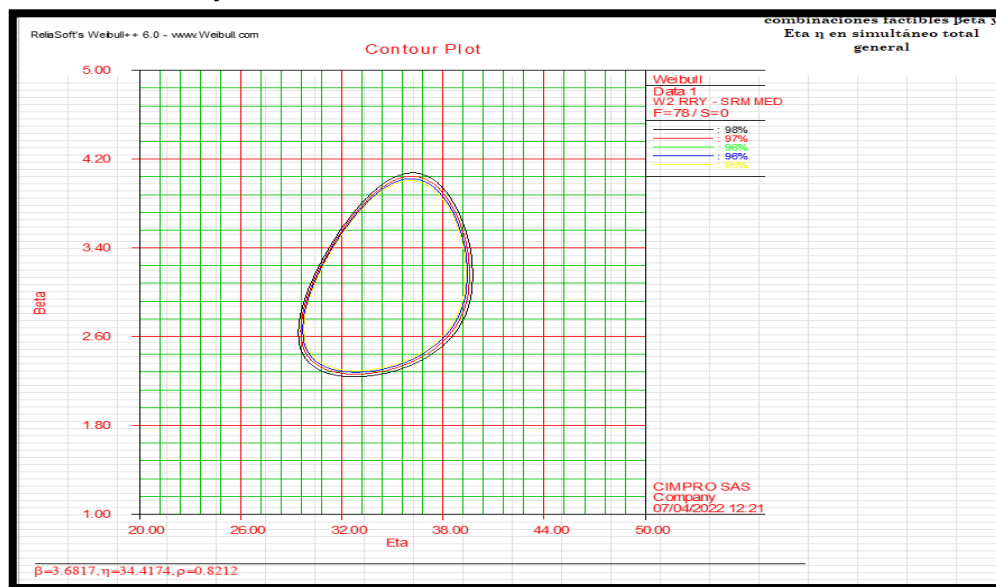
Desde el punto de vista técnico, el valor $\beta > 3.4$ sugiere que el motor se encuentra en una fase de desgaste acelerado, asociada a un incremento creciente en la tasa de fallas. Este comportamiento coincide con la tendencia observada en la curva de No Confiabilidad $F(t)$, donde la probabilidad de falla aumenta rápidamente después de cierto tiempo. Por ello, el contorno confirma que el sistema opera en un dominio donde las acciones de mantenimiento deben enfocarse en tácticas predictivas, inspecciones específicas y reingeniería de componentes críticos.

El valor $\eta \approx 34$ h, asociado a la vida característica, resulta inferior al valor general estimado en otros conjuntos de datos, debido a que este gráfico proviene de un subconjunto estadístico centrado en eventos de falla puntuales registrados en modo específico.

El análisis del contorno revela que, dentro de este contexto, la vida media efectiva del componente se reduce drásticamente, lo que sugiere la presencia de modos de falla localizados o significativos procesos de deterioro en elementos concretos del sistema propulsor.

Figura 29

Curva de contorno Beta y Eta



Nota: La forma del contorno y su inclinación también permiten interpretar cómo la variación de un parámetro afecta al otro. En este caso, el contorno inclinado hacia la derecha indica que pequeñas variaciones en β generan cambios importantes en η , lo cual señala que la confiabilidad global es altamente sensible a los procesos que modifican la tasa de fallas, tales como mantenimiento inadecuado, calibraciones incorrectas, o desgaste acumulado.

Finalmente, este análisis se convierte en insumo directo para las conclusiones del Objetivo 4, ya que confirma el estado de desgaste del motor y orienta las acciones estratégicas hacia la mejora de los procesos de mantenimiento. A su vez, esta interpretación es fundamental para construir la hoja de ruta del Objetivo 5, en la cual se deben plantear tácticas de optimización basadas en los valores estadísticos de β y η , asegurando una gestión de activos alineada con las mejores prácticas internacionales.

Identificación de Variables Críticas y Procesos Influyentes

El análisis integral permite identificar las variables críticas que impactan directamente el desempeño CMD del equipo. Entre ellas destacan el MTBM (tiempo medio entre mantenimientos), el MTTR (tiempo medio de reparación) y la disponibilidad alcanzada (DA), complementadas por los parámetros β y η . Estas variables determinan la frecuencia y efectividad de las intervenciones técnicas, constituyendo los ejes del modelo de confiabilidad operacional (Torres, 2016).

En cuanto a los procesos influyentes, el estudio resalta la importancia de la planificación técnica, la gestión logística de repuestos, la alimentación de datos en el ERP SAP PM, y la formación técnica del personal de mantenimiento. Estos procesos se consideran factores estratégicos para sostener la disponibilidad y prolongar la vida útil de los activos. Su adecuada integración refuerza la madurez del sistema de mantenimiento y posibilita la transición hacia modelos predictivos y prescriptivos de gestión (Power, 2017).

Diagnóstico Integral y Estrategias de Mejora

El análisis visual de la curva de la bañera de Daives clasifica los parámetros de la tasa de fallas para un equipo en función del tiempo o vida útil, a partir de allí podemos diagnosticar el estado del equipo y proponer estrategias de mejora. De acuerdo al análisis realizado en la figura 30 se muestran en color verde (correcto) y rojo (fuera de parámetros) los 7 β analizados, ante ellos podemos decir:

El parámetro Beta (β) del MTBMc, presenta un comportamiento adecuado, con un valor de 0.65. Este resultado es coherente con lo esperado, dado que en áreas de mantenimiento correctivo el valor de β debe ser menor que 1. La relación de este indicador refleja la eficiencia en las tareas de mantenimiento ejecutadas por el personal motorista del buque, evidenciando un incremento en el tiempo operativo entre dichas tareas.

El parámetro Beta (β) del MTBMp, presenta un valor de 1,24, lo cual indica un comportamiento propio de un área enfocada en tareas antes de la falla (mantenimiento

preventivo o predictivo). De acuerdo con la interpretación de la distribución de Weibull, un valor de $\beta > 1$ sugiere que la tasa de fallas aumenta con el tiempo, reflejando un desgaste progresivo de los componentes (McLinn, 2010). En este caso, el valor obtenido, aunque se encuentra dentro del rango esperado, está ligeramente por encima del ideal, lo que evidencia que las estrategias preventivas son efectivas, pero aún pueden optimizarse.

Para mejorar este indicador, resulta conveniente reforzar las acciones de mantenimiento predictivo, incorporando técnicas de monitoreo de condición (como análisis de vibraciones, termografía o ultrasonido), que permitan anticipar el deterioro de los equipos y reducir la probabilidad de falla. De este modo, se incrementará la confiabilidad operativa del sistema y se logrará una tendencia de β hacia valores más controlados y estables en el tiempo.

El parámetro Beta (β) del MTTR muestra, en el último ciclo analizado, una tendencia a la estabilización en un valor de 1,12. Dado que este parámetro corresponde a un área de mantenimiento correctivo, su valor ideal debería mantenerse por debajo de 1, lo que reflejaría una tasa de reparación constante y controlada. Sin embargo, el valor actual, ligeramente superior al límite superior recomendado, sugiere la presencia de variabilidad en los tiempos de reparación, posiblemente asociada a factores externos al proceso técnico de mantenimiento (McCool, 2012).

Entre las causas probables se incluyen demoras logísticas, como la disponibilidad tardía de repuestos, la asignación de personal o la gestión de recursos materiales, las cuales no fueron consideradas dentro del alcance del presente análisis. Asimismo, la ausencia de información precisa sobre los tiempos de demora logística pudo limitar la exactitud del modelo.

Se recomienda implementar estrategias orientadas a la reducción del tiempo de mantenimiento correctivo, como la optimización de la cadena logística, la estandarización de procedimientos de reparación y la mejora del registro y trazabilidad de los tiempos LDT. Estas acciones permitirán reducir el valor de β por debajo de 1, reflejando una mayor estabilidad y eficiencia en los procesos de recuperación de fallas.

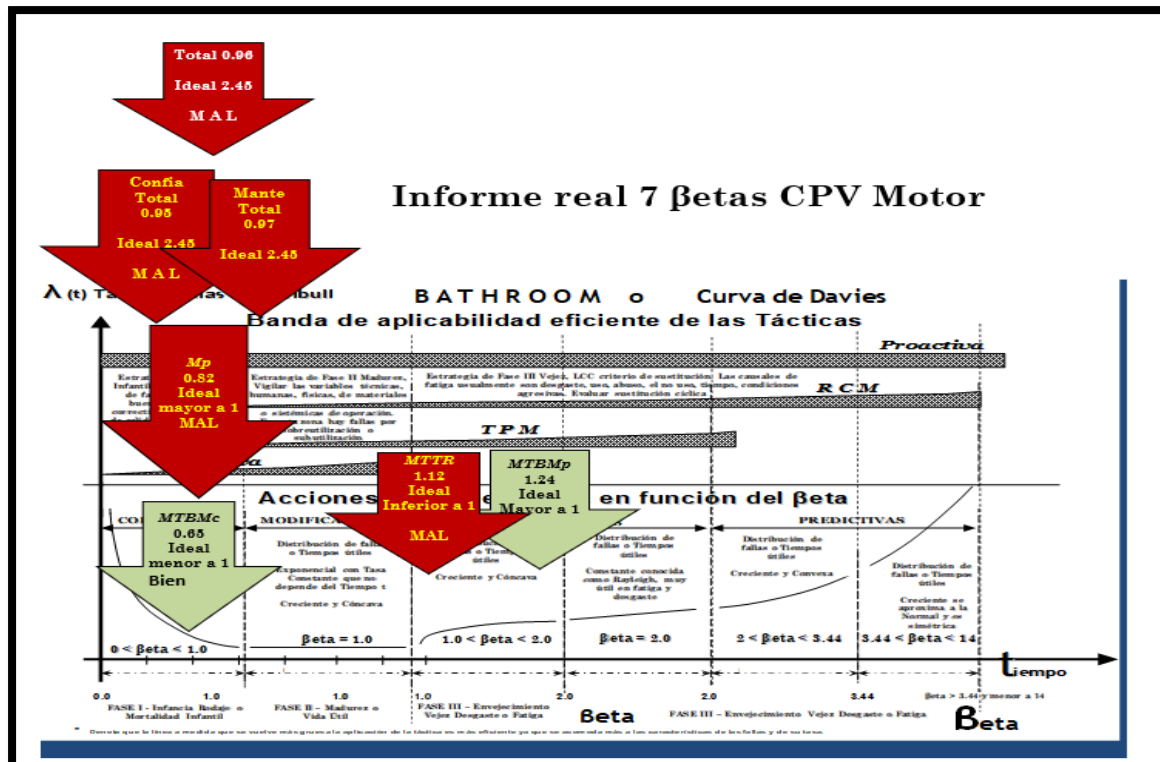
El parámetro Beta (β) del Mp presenta, en su última fase de análisis, un valor de 0,82, lo cual constituye un indicador relevante dentro de la gestión del mantenimiento preventivo. De acuerdo con la interpretación de la distribución de Weibull, los valores de β superiores a 1 reflejan un comportamiento proactivo, característico de sistemas donde las tareas de mantenimiento se anticipan al fallo y controlan eficazmente la degradación de los equipos.

En este caso, el valor obtenido por debajo de la unidad evidencia que el mantenimiento aún mantiene un comportamiento predominantemente reactivo, es decir, las intervenciones se realizan tras la ocurrencia de fallas en lugar de prevenirlas. Este resultado sugiere que las estrategias preventivas no están siendo suficientemente efectivas o que su aplicación es parcial y no sistemática.

Para mejorar este indicador y orientar la gestión hacia un enfoque predictivo, se recomienda incrementar la cobertura de mantenimiento planificado, optimizar la programación de inspecciones y fortalecer los mecanismos de monitoreo de condición (por ejemplo, análisis de tendencias, vibraciones o temperatura). La integración de estos métodos permitiría aumentar la confiabilidad de los sistemas, reducir la frecuencia de fallas no programadas y elevar el valor de β por encima de 1, evidenciando una transición hacia una cultura de mantenimiento proactivo y predictivo.

En relación con los parámetros de forma Beta (β) correspondientes a la mantenibilidad total, la confiabilidad y la disponibilidad totales alcanzada, se obtuvieron valores de 0,97, 0,95 y 0,96, respectivamente. Estos resultados evidencian una tendencia ligeramente descendente, lo que sugiere que el sistema presenta una variabilidad moderada en sus comportamientos de falla y reparación, propia de una fase de madurez operativa donde los procesos aún no han alcanzado plena estabilidad.

Figura 30
Informe 7 Betas motor propulsor CPV



CMD Motor Propulsor CPV Estrategias cognitivas				DISPONIBILIDAD					
betas - Factor de forma le interesa a Mantenimiento		BIEN	MAL	BIEN	MAL	MAL	MAL	MAL	
		beta $MTBM_c$ de Confiabilidad	beta $MTTR$ de Mantenibilidad	beta $MTBM_F$ de Confiabilidad	beta M_F de Mantenibilidad	beta $MTBM$ Integral de Confiabilidad	beta M_{mean} Integral de Mantenibilidad	beta TOTAL	
		SER	0,65	1,12	1,24	0,82	0,95	0,97	0,96
		DEBER SER	Menor a 1	Menor a 1	Muy mayor a 1	Muy mayor a 1	2,45	2,45	2,45

reducir los tiempos de intervención, prolongar los intervalos de operación sin fallas y, en consecuencia, incrementar tanto la confiabilidad como la disponibilidad global del sistema, consolidando un modelo de mantenimiento más predecible y eficiente.

El análisis CMD del motor propulsor demuestra que el sistema opera bajo un régimen maduro y estable, con una disponibilidad global de 98.5 %, superando los estándares internacionales del sector marítimo. El modelo Weibull ajustado mediante Bernard y validado con Kolmogórov–Smirnov confirma una tasa de fallas constante y un comportamiento confiable a lo largo del ciclo operativo.

El estudio evidencia que la gestión de mantenimiento logra una eficiencia técnica, sustentada en la consistencia de los datos, la planeación de actividades y la alineación metodológica entre los procesos SAP y los indicadores CMD. Los resultados reflejan la necesidad institucional de desarrollar estrategias predictivas y de procesos basadas en evidencia cuantitativa.

El análisis realizado sienta la base para el Objetivo No. 5, orientado a construir una hoja de ruta de mejora y optimización. Los resultados CMD del diagnóstico guían la formulación de estrategias prescriptivas y predictivas, centradas en la reducción de variabilidad, la estandarización de procesos y la aplicación de mantenimiento cognitivo. Esta transición consolida un modelo de gestión avanzada de activos, enfocado en la sostenibilidad técnica y la excelencia operacional (Mora, 2024).

Objetivo 5 Diseño Estratégico

Proponer una hoja de ruta para la implementación de un sistema de gestión de activos navales basado en la gobernanza de datos, que integre métricas de CMD bajo estándares internacionales de gestión de activos. **Nivel 5 - Sintetizar - Escala de Bloom & Gagné**

El trabajo de profundización integra los objetivos anteriores para finalmente proponer una hoja de ruta como propuesta metodológica que permite mejorar la gestión de mantenimiento naval, alineado con los principios de la gestión de activos, el presente objetivo consolida una visión estratégica basada en datos, orientada a mejorar la confiabilidad, la mantenibilidad y por si mismas la disponibilidad de los activos estratégicos navales, como elementos críticos del poder marítimo de la nación (Mora, 2007).

En el año 2017 se realizó un análisis de madurez, situando a la armada de Colombia en el nivel 2, lo cual refleja la existencia de procesos funcionales pero no articulados a lo largo del ciclo de vida. El mantenimiento cumple sus funciones, pero no se integra como decisor estratégico dentro del modelo de gestión de activos(IAM, 2024).

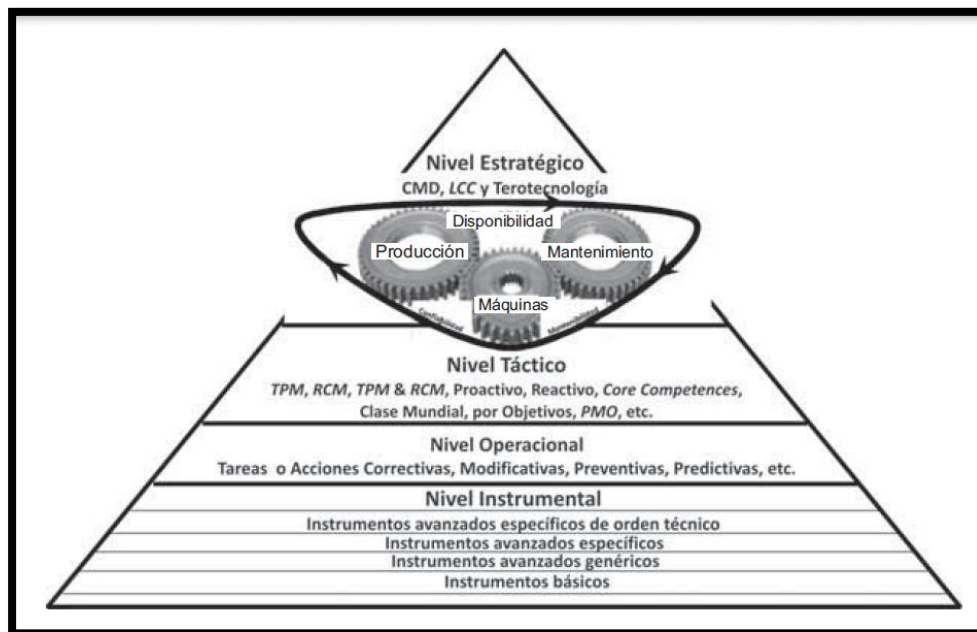
El análisis de CMD realizado en el presente trabajo confirma que la calidad del dato, la variabilidad del mantenimiento, la inconsistencia en registros y la ausencia de metodologías de análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad representan brechas para la toma de decisiones en la institución. Esto es evidenciado y manifestado a nivel estratégico, estudios y análisis descriptivo, diagnóstico y predictivo, puede mitigar el riesgo y respaldar decisiones que aporten valor a la institución (Mora, 2006).

Establecer un plan mediante una hoja de ruta con un enfoque metodológico respaldado científicamente se vuelve necesario para que la Armada como organización gestora de activos, evolucione hacia niveles superiores de madurez. La propuesta articula metodologías como DMAIC de six sigma (Harry & Schroeder, 2000), el análisis descriptivo y diagnóstico de CMD (L. A. Mora, 2024), metodologías de análisis DOFA (Jasiulewicz-Kaczmarek, 2016), como

herramientas que permiten que la propuesta transforme progresiva, continua y sosteniblemente a la Institución en niveles tácticos, operacionales y estratégicos.

La hoja de ruta propuesta debe alinearse con los niveles estratégico, táctico y operacional del enfoque sistémico del mantenimiento, asegurando coherencia entre las acciones y los resultados esperados.

Figura 31
Enfoque sistémico Integral de mantenimiento Estratégico



Nota: La imagen tomada del libro de Mantenimiento, planeación, Ejecución y Control (Mora, 2009) representa el enfoque sistémico del mantenimiento, organizado en niveles instrumental, operacional, táctico y estratégico. Cada nivel se integra mediante engranajes que simbolizan la relación entre máquinas, producción, mantenimiento y disponibilidad dentro del sistema de gestión de activos.

En el nivel operacional se ejecutan las acciones correctivas, preventivas, modificativas y predictivas que alimentan los indicadores CMD utilizados en el análisis. En el nivel táctico, estas acciones se articulan con metodologías como TPM, RCM o PMO para estructurar programas de mantenimiento basados en confiabilidad y mejora continua. Finalmente, en el nivel estratégico, los resultados del análisis de los indicadores CMD que permiten orientar decisiones sobre disponibilidad, LCC y gestión de activos (L. A. Mora, 2024).

Así, la hoja de ruta se convierte en un mecanismo escalonado que conecta la operación diaria con la táctica organizacional y la toma de decisiones de alto nivel (Phaal, 2004).

La gestión de mantenimiento es un generador de valor cuando se integra a la gobernanza de datos, la planificación estratégica, la evaluación de riesgos y la gestión del ciclo de vida de los activos (Torres, 2015). El objetivo propone un modelo en el cual se pueda planificar la integración de de herramientas de confiabilidad, analítica científica, estrategias de mantenimiento que impacten en la mejora de KPI'S de mantenimiento, demostrando el papel de la organización de mantenimiento, integrada con operaciones y con los activos navales, que permitan aumentar el valor de la institución (Mora, 2007).

El aporte significativo del trabajo de profundización consiste en la demostración de que desde la gobernanza y control de métricas de equipos como los motores propulsores de unidades tipo de armada, el análisis estadístico descriptivo y diagnóstico, funge como base para contar con una propuesta ordenada y priorizada de la ruta encaminada a la toma de decisiones bajo criterios cuantitativos y estocásticos.

Metodología de Seleccionada

El fundamento técnico obtenido con base el análisis descriptivo y diagnostico CMD de un motor propulsor, las brechas identificadas en el proceso de gobernanza de datos y la evaluación del nivel de madurez del sistema de gestión de activos realizado en el año 2017, justifica la elección de adoptar la metodologías como el análisis DOFA¹³ y DMAIC¹⁴ de six sigma, para elaborar la propuesta de hoja de ruta (Puyt et al., 2023).

La metodología DOFA es una herramienta de diagnóstico estratégico que se adapta muy bien a la planificación y mejora de la gestión de mantenimiento, su propósito es integrar el análisis interno y externo, ella da aportes de valor en la hoja de ruta propuesta, organizando la información del entorno interno y externo, sirviendo como puente entre la identificación de brechas hasta el diseño de las estrategias plasmadas en la hoja de ruta (Jasiulewicz-Kaczmarek, 2016).

¹³ DOFA Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas

¹⁴ DMAIC Definir, Medir, analizar implementar y controlar

La aplicación de esta metodología en el proyecto se coloca desde los diferentes niveles de la organización estratégico, operacional y táctico. En donde las actividades desarrolladas por la organización de mantenimiento pueden implementar estrategias a corto, mediano y largo plazo encaminadas a aportar a los objetivos estratégicos de gestión de activos y a su vez a los de la institución (Bonicatto, 2017).

Un enfoque DMAIC constituye un modelo estructurado de mejora continua proveniente de un enfoque orientado a la reducción de variabilidad, aumentar la confiabilidad del proceso, la identificación de la causa de raíz del problema en el proceso y la construcción de soluciones sostenible (Harry & Schroeder, 2000).

Este modelo permite conectar los niveles estratégicos, tácticos y operacionales con procesos secuenciales como lo son: definir el problema, medir su comportamiento, analizar sus causas, implementar soluciones de mejora y controlar los resultados.

El objetivo de la hoja de ruta es que se alineen las estrategias desde nivel táctico y operacional, lo que permita el análisis CMD en el nivel estratégico, garantizando a toda la institución una madurez dentro del sistema de gestión de activos (Morales, 2025).

La Metodología para la propuesta de la hoja de ruta resulta adecuada para una alineación institucional basada en criterios de confiabilidad, mantenibilidad, criticidad, riesgo operacional, desempeño del proceso ETL, cumplimiento ISO 55001, disponibilidad y costos de ciclo de vida (Medina, 2016).

Brechas Identificadas

La integración del análisis CMD del anterior objetivo junto con la evaluación de madurez institucional de gestión de activos, confirma la existencia de brechas que afectan a toda organización en la gestión de activos estratégicos, la existencia de estas empeora el panorama en la gestión de recursos públicos impactando directamente en los intereses de la nación (Bonicatto, 2017). Las principales brecha se agrupan en cuatro dimensiones: datos, procesos, Capacidades Técnicas y Madurez estratégica.

Calidad del Dato

Durante el desarrollo del proceso de ETL de la información necesaria para el análisis CMD de un activo crítico como lo es un motor propulsor de una unidad tipo CPV, que cumple funciones primordiales para el control y defensa de los intereses marítimos de la nación, se reveló deficiencias en la calidad de dato a extraer del sistema ERP SAP PM, encontrando duplicidad, inconsistencias, inexistencias de la información de fallas, reduciendo la capacidad de realizar de manera confiable la trazabilidad y medición de indicadores claves en la gestión de mantenimiento, esto afectó directamente el proceso de análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad CMD (Azeroual et al., 2019).

Acciones / tareas de Mantenimiento

El diagnóstico realizado por medio de los datos obtenidos desde bitácoras, historiales de equipo, el cual pasó por un proceso ETL, reflejó puntualmente aspectos positivos y negativos en la gestión del mantenimiento del motor propulsor durante los últimos cinco años, dentro de los aspectos negativos que son susceptibles de mejora se encuentran falencias en las acciones y tareas de mantenimiento.

Al realizar el análisis de los parámetros Betas β , se puede extrapolar brechas en la gestión de mantenimiento predictivo, optimización de planes de mantenimiento preventivo incluyendo un análisis de tareas planeadas versus tareas realizadas, sin embargo la brecha más notable identificada es en cuanto al comportamiento del parámetro beta integral de mantenibilidad y confiabilidad, puesto que al dar valores menores a uno denotan un comportamiento aleatorio del mismo, con predominancia de acciones reactivas, esto se puede asociar al proceso de gestión de mantenimiento integral actual de la armada de Colombia.

Entre las recomendaciones de mejora se incluyen la revisión y optimización de los procedimientos correctivos, la mejora de tiempos LDT y ADT, y el incremento de la frecuencia y precisión de las inspecciones predictivas.

Capacidades técnicas de medición

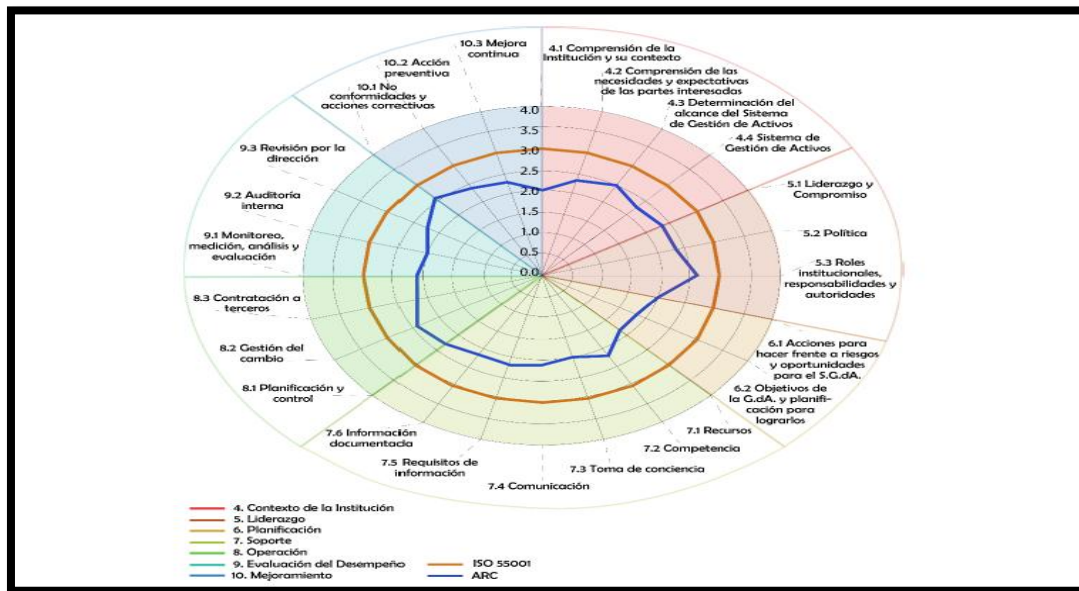
El análisis realizado demuestra que no existe una metodología estandarizada para la medición, gestión y optimización de variables como la confiabilidad y mantenibilidad, así como la medición de la disponibilidad no se realiza hasta nivel componente de acuerdo a la taxonomía propuesta por la ISO 14224 (ISO 14224 & The British Standards Institution, 2016), esta disponibilidad se estima de manera global, lo cual no permite aplicar metodologías analíticas estocásticas. Esta brecha representa una desalineación desde nivel táctico en el seguimiento, medición y control de indicadores claves de mantenimiento.

Madurez en Gestión de Activos

La evaluación realizada en el año 2017 con relación al nivel de madurez, respeto a los requisitos de la normativa en gestión de activos arrojaron un valor de 2,07 indicando que en esa fecha el sistema de gestión de activo se encontraba en una fase de implementación, esta evaluación confirma la ausencia de gobernanza de los datos, roles no definidos en la gestión de activos, indicadores no alineados a la estrategia y falta de integración entre mantenimiento, operaciones, logística y áreas de análisis estratégico, de acuerdo al análisis realizado al otro propulsor se evidencia que estas brechas se encuentran presentes susceptibles de mejora en todos los niveles de la organización (Jefatura de Material Naval, 2021).

Figura 32

Resultado Evaluación de madurez G.A año 2017



Nota: Los resultados de evaluación de madurez en gestión de activos de la Armada Nacional de Colombia corresponden a una calificación promedio de 2.21, asociado con el nivel de madurez 2. De acuerdo a lo especificado en la Escala de madurez en gestión de activos mostrada en la Ilustración 2, una Institución con un nivel de madurez 2, es una Institución en proceso de Implementación de su Sistema de Gestión de Activos. Tomado de documento institucional reservado.

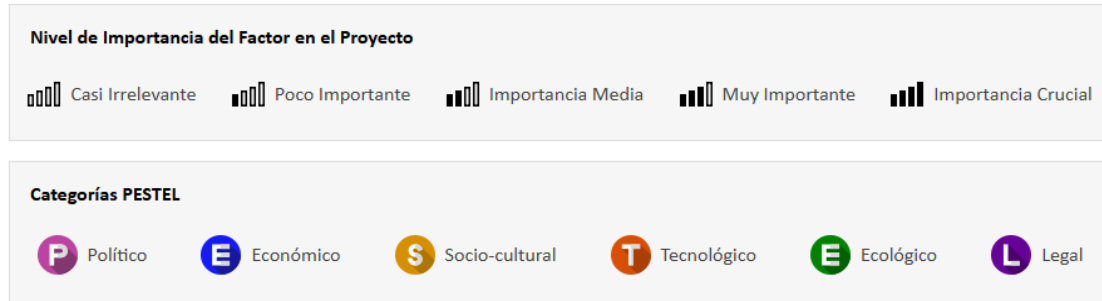
Matriz DOFA nivel Estratégico, táctico y operacional

Las fortalezas y debilidades son características internas de la organización, las fortalezas se refieren a las capacidades inherentes para competir, mientras que las debilidades son las deficiencias inherentes que paralizan el crecimiento y la supervivencia. Las oportunidades son los caminos disponibles para crecer, mientras que las amenazas son desafíos producto del contexto externo que pueden suprimir fortalezas inherentes, acelerar la debilidad y frenar las oportunidades.

Para tener éxito en cualquier campo, las debilidades deben superarse mediante fortalezas y las amenazas deben trasladarse a oportunidades (Jasiulewicz-Kaczmarek, 2016).

El análisis de debilidades, fortalezas, amenazas y oportunidades permiten comprender la posición actual del mantenimiento naval frente a la gestión de activos, la estructura multinivel permite identificar las capacidades internas, riesgos externos y oportunidades relacionadas con tecnología, datos y estandarización (Puyt et al., 2023).

Figura 33
Niveles de Importancia DOFA y categorías PESTEL



DOFA Estratégico

Figura 34
Matriz de factores DOFA estratégico

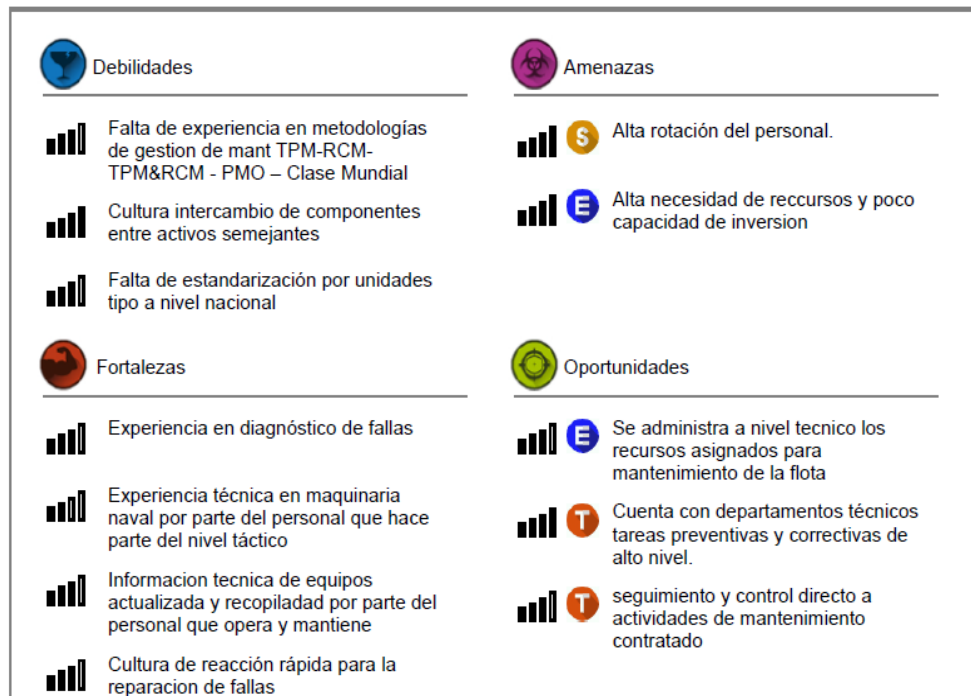


Nota: Elaboración propia. Realizado por medio de herramienta <https://dafo.ipyme.org/dafos>.

DOFA Táctico

Figura 35

Matriz de análisis DOFA a nivel táctico

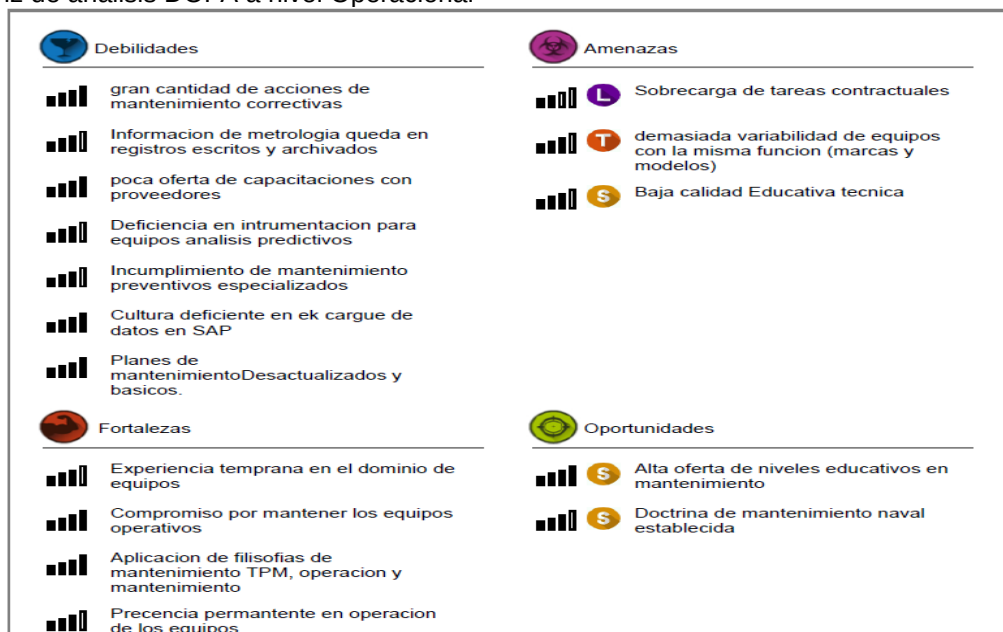


Nota: Elaboración propia. Realizado por medio de herramienta <https://dafo.ipyme.org/dafos>.

DOFA Operacional

Figura 36

Matriz de análisis DOFA a nivel Operacional



Nota: Elaboración propia. Realizado por medio de herramienta <https://dafo.ipyme.org/dafos>.

Desarrollo del ciclo DMAIC

El desarrollo del ciclo DMAIC corresponde a definir, medir, analizar, implementar y controlar; se adopta como un eje metodológico que permite la mejora continua, convirtiéndose en un vector de empuje para sobrepasar los elementos opresores del cambio mediante un plan estructurado, progresivo y sostenible (Harry & Schroeder, 2000).

La fase de definir se adopta como un proceso en el cual se identifican los problemas, brechas y oportunidades de mejora centrales, el trabajo de profundización integra el análisis previo realizado a un equipo primordial de una unidad estratégica de la Armada de Colombia en el cual se puede diagnosticar las estrategias de mantenimiento susceptibles de mejora y que junto con metodologías DOFA en los niveles de la organización, se pueden extrapolar estas estrategias de manera sistemática, de tal forma que el aporte de valor se maximice hacia el cumplimiento de los objetivos estratégicos (Baro et al., 2023).

La fase de medir permite realizar la identificación del comportamiento de variables como la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. En el trabajo realizado esta fase se realizó a un equipo principal de una unidad tipo como lo es el motor propulsor de una patrullera de costa.

Además de medir el desempeño de variables CMD, donde se incluye indicadores claves de mantenimiento como los son el MTBFc, MTBFp, Mp y MTTR, es necesario continuar con la medición del nivel de madurez del sistema de gestión de mantenimiento y el sistema de gestión de activos, todas las mediciones nombradas son claves, el objetivo es identificar la variación entre ellas, esto coadyuva en el proceso de mejora continua que reconoce la norma 55001 en el año 2024 en el requisito número 10 dentro del sistema de gestión de activos (Pais et al., 2019).

La fase de análisis tiene como objetivo identificar la causa raíz del problema, brecha u oportunidad de mejora causada por las variables que fueron medidas e identificadas en la etapa anterior (Mansur dos Reis et al., 2022). Es primordial que las herramientas con las cuales se realiza el análisis provengan de un método científico, siguiendo una metodología que permita la correcta interpretación e identificación de la causa raíz (Harry & Schroeder, 2000).

En la fase de implementación ya se ha identificado el origen y causa raíz de las brechas identificadas en el proceso, por lo que la solución se proyecta con estrategias claves de manera que la mejora sea sostenible (Smętkowska & Mrugalska, 2018).

El planteamiento de las estrategias para reducir las brechas debe estar enfocadas en la organización y puestas en conocimiento de los directivos en factor económico, ya sea de rentabilidad o en este caso de ahorro de los costos de mantenimiento.

Un despliegue de esta fase a nivel táctico consiste en el desarrollo de las herramientas y metodologías de mantenimiento que se ajusten a las brechas técnicas identificadas entre las que se encuentra el Mantenimiento productivo total TPM, Mantenimiento basado en confiabilidad RCM, TPM & RCM, mantenimiento proactivo, entre otros, hasta llegar al mejor como lo es el mantenimiento de clase mundial (Mora, 2007).

Las áreas de mantenimiento buscan llegar a convertirse en una organización de clase mundial, se basa en pasar de lo reactivo después de la falla a lo preventivo antes de la falla para todas las acciones de mantenimiento, anticiparse a lo que suceda en el futuro, ello exige la gestión de cambio desde lo técnico hacia lo cultural, con un alto nivel de planeación y un adecuado sistema gerencial de información de mantenimiento CMMS (Mora, 2009).

El mantenimiento de clase mundial utiliza el benchmarking como una herramienta que le permite reducir costos, mejorar la productividad y maximiza la disponibilidad aumentando la capacidad a través de la mejora continua (Boxwell, 1994).

Una institución que se proyecta con una organización de mantenimiento de clase mundial realiza las acciones de mantenimiento centrandose en el trabajo en equipo, la implementación de CMMS, la instalación de mantenimiento preventivo (PM) y mantenimiento predictivo (PdM), entre otros (Norman, 1995).

En la fase de control se trata de que las mejoras implementadas se mantengan de manera sostenible, es clave utilizar herramientas visuales que permitan mantener ese control donde el

proceso anterior de medición se pueda realizar de manera constante, con el fin de corroborar que las mejoras implementadas surtan efectos positivos (Singh & Khanduja, 2014).

El seguimiento con series temporales de las variables de CMD, es una herramienta útil para controlar e identificar que las estrategias de mantenimiento están dando aportes de valor a la institución, métodos futurísticos con analítica predictiva, proactiva y cognitiva suma en la toma de decisiones a nivel estratégico, este aporte da aún más valor puesto que lo identificado en el análisis descriptivo y diagnostico hace parte del pasado, al realizar proyecciones futurísticas convierte a la organización de mantenimiento en la pieza clave del éxito de la organización (Casanova & Esther, 2023).

Gestión de Activos y mantenimiento

La Armada de Colombia diariamente enfrenta el ciclo de incorporar, administrar y mantener una mayor cantidad de activos para el cumplir su función constitucional de manera permanente, aumentando de manera exponencial la planta, propiedad y equipo, esto genera la necesidad de desarrollar metodologías y estrategias encaminadas a la gestión de activos basada en costos e indicadores CMD, que garanticen que se reduzca el gasto de mantenimiento y se aumente la capacidad y disponibilidad de la flota durante su ciclo de vida.

El impacto de definir, medir, analizar, implementar y controlar actividades coordinadas para la gestión de activos desde la organización de mantenimiento en la institución redunda en la reducción de costos de gestión y operación de mantenimiento, aumento de la disponibilidad e incremento de la vida útil (Garrido, 2003).

Hoja de ruta a Corto Plazo (0–24 meses)

Eje estratégico	Acción / Proyecto	Nivel Responsable	Normas asociadas	Fase DMAIC	Entregables principales
Gobernanza de datos	Definir y aprobar la Política de Gobernanza de Datos Navales (datos como activo estratégico)	Estratégico	ISO 55013, ISO 55001	Definir	Documento de política; mapa de roles; programa de capacitación
Portafolio y criticidad	Actualizar y formalizar la matriz de criticidad de activos navales por fuerzas Navales	Táctico	ISO 55001, ISO 14224, GFMAM	Medir	Matriz de criticidad por tipo de unidad y sistema
Indicadores básicos	Definir y calcular línea base de MTBF, MTTR, DA	Táctico / Operacional	IEC 61703, EN ISO 15341	Medir	Informe técnico de línea base CMD por equipo,
Calidad de datos	Implementar un proceso ETL estructurado por intermedio de SAP, hojas de calculo, Tablero de control.	Operacional	ISO 14224, ISO 55013	Analizar	Realizar un procedimiento institucional para el proceso de ETL a nivel unidad.
Marco normativo CMD	Adoptar el modelo institucional CMD.	Estratégico	IEC 61703, UNE-EN 16646	Implementar	Manual metodológico técnico CMD institucional
BI e informes	Diseñar un primer tablero BI CMD piloto (CPV) con indicadores DA, MTBF, MTTR, TBMc, TBMp	Táctico	ISO 55013, EN ISO 15341	Implementar/ Controlar	Prototipo de dashboard BI por unidad
Alineación estratégica	Integrar los objetivos CMD en el Plan Estratégico de Gestión de Activos (PEGA)	Estratégico	ISO 55001, UNE-EN 16646	Controlar	Versión actualizada del PEGA con metas CMD

Nota: Elaboración propia. El objetivo central del periodo es incluirlo dentro del plan estratégico naval 2024-2027: política, modelo CMD, gobernanza de datos y plan piloto.

Hoja de Ruta a Mediano Plazo (24–60 meses)

Eje estratégico	Acción / Proyecto	Nivel Responsable	Normas asociadas	Fase DMAIC	Entregables principales
Gestión del riesgo	Incorporar la matriz de riesgo CMD (probabilidad–consecuencia) a la priorización de inversiones y mantenimientos	Estratégico	ISO 55001, UNE-EN 16646	Definir	Procedimiento de evaluación de riesgo CMD
Formación avanzada	Programa institucional de competencias CMD & analítica (Weibull, Kolmogórov–Smirnov, ETL, BI)	Táctico / Estratégico	ISO 55001 (competencia), IAM	Definir	Plan y registro de formación certificada
Creación de grupo caza fallas	Crear por Fuerzas navales grupos caza fallas que donde se realice un FMEA como plan de choque con equipos críticos	Táctico	ISO 14224, IEC 61703	Medir	Conformación de la doctrina, roles, responsabilidades, funciones, organización, instalación, equipos de medición
Optimización de planes	Revisión y rediseño de planes de mantenimiento preventivo y predictivo según resultados CMD (MTBM, β , η)	Operativo / Táctico	IEC 61703, UNE-EN 16646	Analizar	Nuevos planes PM/CBM validados
Sistema SNIGA-DATA	Implementar el Sistema Naval Integrado de Gestión de Activos (SNIGA-DATA) integrando SAP PM + ETL + BI + CMD	Estratégico / Táctico	ISO 55001, ISO 55013, IEC 61703	Implementar	Arquitectura tecnológica e integración de plataformas
BI corporativo	Despliegue de tableros BI corporativos de gestión de activos (nivel Fuerza Naval y nivel central)	Estratégico / Táctico	ISO 55013, EN ISO 15341	Controlar	Suite de dashboards estratégicos y tácticos

Nota: Elaboración propia. El objetivo central del periodo es escalar desde el piloto a la flota priorizada y pasar de mantenimiento reactivo a proactivo/predictivo.

Hoja de Ruta a Largo Plazo (5 a 18 años)

Eje estratégico	Acción / Proyecto	Nivel (E/T/O)	Normas asociadas	Fase DMAIC	Entregables principales
Madurez GdA	Alcanzar certificación o autoevaluación de Gestión de Activos alineada con ISO 55001 para el sistema naval	Estratégico	ISO 55001, ISO 55010	Definir	Informe de madurez y certificación / reconocimiento
Cultura de datos	Consolidar una cultura organizacional orientada a datos y confiabilidad	Estratégico	ISO 55001, ISO 55013	Definir	Plan de cambio cultural, campañas y evidencias de adopción
Gestión ciclo de vida	Implementar un modelo integral de ciclo de vida (LCCA) para sistemas estratégicos	Estratégico	UNE-EN 16646, EN ISO 15341	Medir	Estudios LCC y políticas de renovación/re-potenciación
Integración logística	Integrar plenamente logística, abastecimiento y mantenimiento (gestión de LDT y NTTR)	Táctico	IEC 61703, ISO 55001	Analizar	Procedimientos logísticos integrados con CMD
Cooperación internacional	Desarrollar programas de cooperación y benchmarking con otras marinas sobre CMD y GdA	Estratégico	GFAMAM, IAM	Implementar	Informes comparativos y lecciones aprendidas
Mantenimiento con Analítica cognitiva	Evolucionar hacia mantenimiento cognitivo: analítica predictiva + prescriptiva con apoyo de IA	Estratégico / Táctico	ISO 55013, IEC 61703	Controlar	Plataforma de analítica avanzada (prototipos y casos de uso)

Nota: Elaboración propia. El objetivo central del periodo es consolidar un sistema de gestión de activos navales de clase mundial, con mantenimiento predictivo–cognitivo e integración plena al ciclo de vida, adherido al Plan de Desarrollo Naval 2042.

Objetivo 6. Conclusiones

Integrar en la visión gerencial los estándares internacionales complementadas por una perspectiva científica, analítica descriptivas y diagnósticas, basada en la matemática y la estadística impulsa un enfoque predictivo y prescriptivo, impacta en estrategias de mantenimiento de la Armada de Colombia, fortaleciendo la alineación estratégica y la consolidación de una gestión de activos navales moderna, orientada a optimizar de forma sistemática la relación entre operaciones, mantenimiento y medios navales, bajo principios de eficiencia y sostenibilidad.

Un completo aprovechamiento del sistema de información garantiza la calidad del dato y a su vez pueda ser transformada a modelos estadísticos y predictivos, esto permite aplicar metodologías de mantenimiento enfocados a mejorar la confiabilidad, reducir la mantenibilidad, aumentando por si mismo la disponibilidad de los activos navales.

La adopción de un equipo principal de una unidad a flote de la Armada de Colombia sirve como caso piloto para diagnosticar la gestión de mantenimiento en la armada, siendo una base para la construcción y el planeamiento de la hoja de ruta hacia alcanzar la madurez en gestión de activos.

La correcta gobernanza de los datos, el uso de taxonomías jerárquicas como el SWBS y la aplicación de metodologías ETL permite asegurar la calidad y trazabilidad de la información, siendo este mismo un activo intangible de gran aporte en el valor de la institución.

El proceso llevado en el trabajo de profundización refleja brechas significativas en la carga inicial de los datos técnicos, originadas por registros incompletos y falta de estandarización, esta deficiencia impacta la calidad de los cuadros de control del Business Intelligence BI institucional.

El proceso analítico de la investigación demuestra que al transformar datos técnicos en conocimiento, posibilita la identificación temprana de tendencias de desgaste, la programación de mantenimientos predictivos y la priorización de recursos técnicos conforme al estado real del

sistema. Lo cual proporciona una visión integral del desempeño de los activos bajo criterios científicos de confiabilidad y estadística aplicada.

El análisis CMD del motor propulsor demuestra que el sistema opera bajo un régimen maduro y estable, con una disponibilidad global de 98.5 %, el comportamiento de los parámetros betas de confiabilidad y mantenibilidad confirma una tasa de fallas constante y un comportamiento confiable a lo largo del ciclo operativo, susceptible de mejoras en la gestión de mantenimiento.

Entre las acciones recomendadas se incluyen la optimización de los procedimientos correctivos, la mejora de la logística de repuestos y recursos, y el incremento de la frecuencia y precisión de las inspecciones preventivas. Los resultados reflejan la necesidad institucional de desarrollar estrategias predictivas y de procesos basadas en evidencia cuantitativa.

Por medio de la hoja de ruta y un ciclo sistemático para definir, medir, analizar, implementar y controlar actividades coordinadas para la gestión de activos desde la organización de mantenimiento en la Armada de Colombia proyecta eficiencia de la gestión de mantenimiento dentro del SGA.

En el trabajo de profundización se logra demostrar las primeras tres etapas del ciclo en un activo principal y crítico para un buque de guerra, en el cual se define, se mide y se analiza las variables de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, esto permite proponer las siguientes fases de implementación y control. Es necesario que se continúe con los estudios y análisis académicos y científicos que demuestren que el método científico es la base fundamental para la explicación de los fenómenos de interés que permiten tomar decisiones confiables y acertadas.

Descripción de cómo se alcanzan los objetivos***UNO – Normas.***

El primer objetivo profundiza en la importancia de las normas técnicas en la gestión de activos, destacando su papel en la estandarización y en la alineación con buenas prácticas internacionales. El estudio reconoce que las normas ISO 55000, IEC 61703, UNE-EN 16646, ISO 55013 e ISO 15341, ellas orientan mejora en los procesos de mantenimiento y consolidan la gobernanza de datos como fundamento estratégico de la gestión de activos.

El análisis identifica que estas normas fortalecen la relación entre mantenimiento, producción y maquinas, desde un enfoque sistémico inspirado en la perspectiva kantiana. Este enfoque permite comprender cómo esta relación define la eficiencia global del sistema, especialmente cuando se estudian las variables de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (CMD).

El objetivo concluye que el análisis científico y normativo posibilita aplicar metodologías de mantenimiento basadas en evidencia. Asimismo, demuestra que el modelo CMD mejora la toma de decisiones, complementa los requisitos normativos y maximiza el valor generado por los activos dentro de la organización.

DOS – Caracterización.

El segundo objetivo caracteriza el portafolio de activos de la Armada de Colombia, identificando las unidades más representativas para el estudio. La selección de las unidades tipo patrullera de costa (CPV) responde a criterios de cantidad, función operativa e impacto estratégico, lo que justifica su relevancia dentro del análisis institucional.

Dentro de cada unidad CPV se evalúa la taxonomía y criticidad de los equipos, determinándose que el motor propulsor constituye un activo esencial para la misión operativa. Por ello, el estudio se concentra en un solo motor como piloto metodológico, con el propósito de generar un modelo replicable para otros sistemas de la flota.

Esta caracterización permite comprender el rol técnico del motor, su contribución a la disponibilidad operativa y su relación con los procesos de mantenimiento. Asimismo, establece una línea base que facilita la aplicación posterior del análisis CMD y su integración con metodologías de gestión de activos.

TRES – Valoración CMD.

El tercer objetivo aborda la valuación CMD a partir de la calidad del dato, identificada como la principal brecha del proceso. La información inicial extraída del sistema SAP PM se encuentra incompleta, lo que limita su utilidad analítica y evidencia la necesidad de fortalecer la gobernanza de datos en la institución.

Ante esta limitación, se recurre a bitácoras, historiales de equipo y registros manuales del buque. Aunque estos datos permiten reconstruir la secuencia histórica, su obtención exige esfuerzo, presenta riesgo de error humano y demuestra la urgencia de mejorar la captura digital de la información operativa.

Una vez consolidada, la información se somete a un proceso ETL, organizándose y preparándose para la medición de los indicadores CMD. Ello permite visualizar métricas como MTTR, MTBM, β , η y disponibilidad alcanzada (DA), las cuales son cargadas en el software CMD++ para su valoración técnica.

La integración con CMD++ posibilita un análisis estadístico riguroso, sustentado en metodologías de gobernanza de datos. Esto establece un marco cuantitativo confiable para interpretar los comportamientos del sistema y apoyar futuras mejoras institucionales.

CUATRO - Diagnóstico.

El cuarto objetivo desarrolla un diagnóstico técnico mediante los estadios descriptivo y diagnóstico del análisis CMD. En esta fase se examina el comportamiento histórico del motor propulsor, identificando patrones, tendencias y desviaciones a partir de series de tiempo y parámetros estadísticos.

El estudio analiza los factores β de confiabilidad y mantenibilidad, así como la disponibilidad alcanzada. La correlación de estas variables permite determinar la madurez del sistema y reconocer comportamientos propios del desgaste mecánico, la respuesta operacional y la eficacia de los programas preventivos.

El diagnóstico revela que los factores administrativos de mantenibilidad afectan de forma significativa los resultados. La ausencia de información completa sobre estos tiempos impide medirlos y gestionarlos adecuadamente, lo que demuestra la necesidad de fortalecer los procesos de captura de datos técnicos.

El objetivo concluye que las mejoras en la calidad del dato permitirán avanzar hacia estadios predictivos y prescriptivos del conocimiento, optimizando la capacidad institucional para anticipar fallas y planificar intervenciones oportunas. Asimismo, las oportunidades de mejora identificadas se convierten en insumo directo para el diseño de la hoja de ruta estratégica.

CINCO – Diseño Estratégico.

El quinto objetivo formula una hoja de ruta estratégica para la gestión de activos navales, articulando los resultados de los objetivos anteriores en una propuesta estructurada en horizontes de tiempo. Esta hoja de ruta integra visión normativa, caracterización técnica, análisis CMD y diagnóstico estadístico.

El diseño incorpora un análisis DOFA aplicado a los niveles estratégico, táctico y operacional. Este análisis permite identificar fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas que afectan la gestión de mantenimiento y orienta la priorización de acciones institucionales.

La hoja de ruta adopta el ciclo DMAIC como marco metodológico. Este ciclo permite definir, medir, analizar, mejorar y controlar los procesos, favoreciendo la mejora continua y alineando la gestión de activos con prácticas de clase mundial.

Finalmente, la propuesta promueve el fortalecimiento de la gobernanza de datos, la estandarización operativa y el incremento sostenido del desempeño CMD en todas las unidades

de la flota. La hoja de ruta se proyecta como un mecanismo institucional para transformar el mantenimiento en un recurso nuclear estratégico.

Referencias

- AENOR. (2007). *Uso y referencia a normas ISO e IEC en la reglamentación técnica*.
- AENOR. (2015). *UNE-EN - 16646 Mantenimiento en la Gestión de los Activos Físicos*.
<https://doi.org/10.1021/bi00630a021>
- Aguirre, A. M., & Diaz, D. C. (2025). *Propuesta de Plan de Intervención para el Mantenimiento de activos de la Armada Nacional de Colombia*. Universidad EAN.
- AKKAYA, O. (2013). *Reliability Availability And Maintainability Analysis In Naval Ships* [Thesis Advisor: Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT]. Department of Naval Architecture and Ocean Engineering.
- Anantharaman, M., Khan, F., Garaniya, V., & Lewarn, B. (2017). Reliability assessment of vessel's main engine by combining markov analysis integrated with time dependent failures. *Safety of Sea Transportation - Proceedings of the International Conference on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, TRANSSNAV 2017*.
<https://doi.org/10.1201/9781315099088-64>
- Antomarioni, S., Ciarapica, F. E., & Bevilacqua, M. (2023). Data-driven approach to predict the sequence of component failures: a framework and a case study on a process industry. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 40(3), 752-776.
<https://doi.org/10.1108/IJQRM-12-2020-0413>
- Araque, G. andres, Vélez, E. O., Lacharme, J. D., Rivera, G. J., & Ospina, M. catalina. (2020). RCM (Reliability Centred Maintenance) como metodología de aprendizaje y desarrollo social en el mantenimiento preventivo de Maquinaria y Equipo Industrial: caso de estudio en el Sector Textil de la ciudad de Medellín. *Aportes en investigación para la INGENIERIA*.
- Arata, A. Adolfo., & Furlanetto, L. (2005). *Manual de gestión de activos y mantenimiento*. RIL editores. https://cimsec.org/a-high-low-naval-portfolio-maximize-strategic-returns-with-balanced-force-design/?utm_source=chatgpt.com

- Armada de Colombia. (2020). Plan de Desarrollo Naval 2042. En *Plan de Desarrollo Naval 2042*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfendmkaj/https://www.armada.mil.co/sites/default/files/descargas/Plan%20Desarrollo%20Naval%202042%2007042021.pdf
- Armada de Colombia. (2022). *Doctrina de Material Naval. Tomo III. Mantenimiento, Segunda Edicion*.
- Armada de Colombia. (2024). *Plan Estratégico Naval 2024-2027 (PEN 2024-2027)*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfendmkaj/https://www.armada.mil.co/sites/default/files/gbb-uploads/Plan%20Estrat%C3%A9gico%20Naval%20PEN%202024-2027.pdf
- Azeroual, O., Saake, G., & Abuosba, M. (2019). ETL best practices for data quality checks in RIS databases. *Informatics*, 6(1). <https://doi.org/10.3390/informatics6010010>
- Baro, M., Piña, M., & Reyes, A. (2023). 6 Sigma and DMAIC Method: Basic Tool Teaching and Application for Beginning Practitioners in Automotive Assembly. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 16(1). <https://doi.org/10.22094/JOIE.2023.1976488.2029>
- Barrero Avellaneda, A. M. (2024). Fortalecimiento del Centro de Fusión de Inteligencia Naval del Caribe como herramienta de cooperación hemisférica para Colombia. *Revista de las Fuerzas Armadas*, 265, 10-32. <https://doi.org/10.25062/0120-0631.4928>
- Bazovsky, Igor. (2004). *Reliability theory and practice*. Dover Publications.
- Blanchard, B. S. ., Verma, Dinesh., & Peterson, E. L. . (1995). *Maintainability: a key to effective serviceability and maintenance management*. Wiley.
- Blank, L., & Tarquin, A. (2020). *Ingeniería Económica* (Mc Graw Hill, Ed.; Octava edición).
- Blind, K., & Fenton, A. (2022). Standard-relevant publications: evidence, processes and influencing factors. *Scientometrics*, 127(1). <https://doi.org/10.1007/s11192-021-04210-8>
- Bonicatto, M. (2017). *Gestión estratégica planificada (GEP) un método para la gestión en organizaciones públicas* (EDULP).

- Borkowski, M., Baur, J., Kelly, W., & Martinez, V. (2014). Reimagining the Navy's Planned Maintenance System. *Naval Engineers Journal*, 126, 95-102. <Go to ISI>://WOS:000343639500009
- BS ISO. (2024). BS ISO 55000:2024 Asset management Vocabulary, overview and principles. En ISO copyright office (Ed.), *BSI Standards* (Second edition, Vol. 399, Número 8730).
- BSI. (2016). *BS EN ISO 14224:2016 : petroleum, petrochemical and natural gas industries -- collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. British Standards Institution.
- Button, Robert. (2008). *Small ships in theater security cooperation*. RAND National Defense Research Institute.
- Cabrita, P., & Fonseca, D. (207d. C.). Expressões matemáticas comparativas de fiabilidade, disponibilidade e manutibilidade. *CISE*. <https://issuu.com/cie-comunicacao/docs/6-8>
- Cadena Afanador, W. R. (2012). Colombia y la territorialización de sus mares conflictos limítrofes y la convención de derecho del mar. *Prolegómenos*, 15(30). <https://doi.org/10.18359/prole.2365>
- Campbell, J. D. ., & Jardine, A. K. S. . (2001). *Maintenance excellence : optimizing equipment life-cycle decisions*. M. Dekker.
- Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1). <https://doi.org/10.46842/ipn.cien.v23n1a06>
- Cárdenas Molina, J., & Olguín Valenzuela, I. (2020). Preliminary design of a management maintenance model of sensitive engineering assets, for a ship under the concept of reliability engineering. *Ciencia y tecnología de buques*, 14(27), 9-23. <https://doi.org/10.25043/19098642.202>

- Carrasco Mora, J. A., & Berrío Payares, V. C. (2024). Impacto positivo de la integración empresarial: el caso de COTECMAR en el sector Defensa en Colombia. *Estudios en Seguridad y Defensa*, 19(37), 125-145. <https://doi.org/10.25062/1900-8325.4846>
- Casanova, C. I., & Esther, P. (2023). Impacto de la analítica predictiva en la toma de decisiones gerenciales. *Revista Científica Ciencia y Método*.
- CCO. (2018). *POLÍTICA NACIONAL DEL OCEÁNO Y DE LOS ESPACIOS COSTEROS PNOEC*. Conpes 3990, Consejo Nacional De Política Económica Y Social Conpes (2020).
- Cotecmar. (2025). *Coastal Patrol Vessel*. Science and Technology Corporation for the Development of Naval, Maritime and Riverine Industry. https://www.cotecmar.com/en/products/coastal-patrol-vessel?utm_source=chatgpt.com
- Crespo Márquez, A., Díaz, V. G. P., & Fernández, J. F. G. (2017). Advanced maintenance modelling for asset management: Techniques and methods for complex industrial systems. En *Advanced Maintenance Modelling for Asset Management: Techniques and Methods for Complex Industrial Systems*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58045-6>
- Crespo Márquez, A., Moreu de León, P., Gómez Fernández, J. F., Parra Márquez, C., & López Campos, M. (2009). The maintenance management framework. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 15(2), 167-178. <https://doi.org/10.1108/13552510910961110>
- Davenport, T. H., & Harris, J. G. (2017). Competing on Analytics, Updated, with a New Introduction: The New Science of Winning. En *Harvard Business School Press Books*.
- Daya, A. A., & Lazakis, I. (2024). Systems Reliability and Data Driven Analysis for Marine Machinery Maintenance Planning and Decision Making. *Machines*, 12(5), 294. <https://doi.org/10.3390/machines12050294>
- Dhillon, B. S. (2006). Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers. En *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. <https://doi.org/10.1201/9781420006780>

- Diatte, K., O'Halloran, B., & Van Bossuyt, D. L. (2022). The Integration of Reliability, Availability, and Maintainability into Model-Based Systems Engineering. *Systems*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/systems10040101>
- Dirección de Doctrina Naval. (2022a). *Doctrina de Material Naval Tomo II Clasificación*.
- Dirección de Doctrina Naval. (2022b). *Manual de Gestión de Activos y Soporte Logístico* (Primera Edición).
- Dirección de Doctrina Naval. (2022c). *Manual de Sistema de Información de Mantenimiento Armada Nacional*.
- DNP. (s. f.). *Análisis histórico del Gasto en Defensa y Seguridad 1990-2020*.
- DNP. (2023). *Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 COLOMBIA, POTENCIA MUNDIAL DE LA VIDA*.
- DoD. (1981). *Military standard definition of terms for reliability and maintainability*.
- DoD. (1998). Military Handbook Electronic Reliability Design Handbook MIL-HDBK-338B. DoD, 1 October.
- Durán, O., & Vergara, B. (2022). Maintenance Strategies Definition Based on Systemic Resilience Assessment: A Fuzzy Approach. *Mathematics*, 10(10), 1677. <https://doi.org/10.3390/math10101677>
- Espinosa Zárate, Z. (2023). ¿La inteligencia artificial como mejora cognitiva?: de los Sistemas de apoyo a la decisión (DSSs) a las Reflection machines. *Veritas*, 55. <https://doi.org/10.4067/s0718-92732023000200093>
- Fana, W. S., Sovia, R., Permana, R., & Islam, M. A. (2021). Data Warehouse Design With ETL Method (Extract, Transform, And Load) for Company Information Centre. *International Journal of Artificial Intelligence Research*, 5(2). <https://doi.org/10.29099/ijair.v5i2.215>
- Farfan, J. (2020). La Otra Visión de la Confiabilidad Operacional. *Reliability Connect. Mobius Institute*.

- Farfan, P., & Catalán, I. (2024). *La importancia de la gestión y el análisis de la información de activos físicos dentro de una organización para la toma de decisiones de inversión* [Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gestión de Activos]. Universidad de Antioquia.
- Farfan, R. J. (2024). *Propuesta de mejoramiento de los proyectos de mantenimiento naval en la Armada de Colombia*. [Maestría en Gerencia de Proyectos]. Universidad EAN.
- Fernández-Barrero, D., Fontenla-Romero, O., Lamas-López, F., Novoa-Paradela, D., R-Moreno, M. D., & Sanz, D. (2021). Soprene: Assessment of the spanish armada's predictive maintenance tool for naval assets. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/app11167322>
- Freitas, N., Rocha, A. D., & Barata, J. (2025). Data management in industry: concepts, systematic review and future directions. *Journal of Intelligent Manufacturing*. <https://doi.org/10.1007/s10845-025-02570-z>
- Galar, D. P., Berges, L. F., & Royo, J. S. (2010). La problemática de la medición del rendimiento en la función mantenimiento. *Dyna ingeniería e industria*, 85(3). <https://doi.org/10.6036/3447>
- Garrido, G. S. (2003). Organizacion Y Gestion Integral De Mantenimiento. En *Diaz de Santos* (Vol. 1).
- GFMAM. (2024). *El Panorama de la Gestión de Activos* (Global Forum on Maintenance & Asset Management, Ed.; Tercera).
- Guerrero Sanchez, M. Á., & Cali Yambay, E. M. (2021). Conceptual design of coastal patrol vessel (CPV) with flight deck for the reception and deployment of helicopter. *Ciencia y tecnología de buques*, 14(28). <https://doi.org/10.25043/19098642.214>
- Guo, M., Wang, Y., Yang, Q., Li, R., Zhao, Y., Li, C., Zhu, M., Cui, Y., Jiang, X., Sheng, S., Li, Q., & Gao, R. (2023). Normal Workflow and Key Strategies for Data Cleaning Toward Real-World Data: Viewpoint. *Interactive Journal of Medical Research*, 12. <https://doi.org/10.2196/44310>

- Harry, M., & Schroeder, R. (2000). *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations* By Mikl J Harry and Richard Schroeder. *Soundview Executive Book Summaries*, 22 (Part 2(11)).
- Hastings, N. A. J. (2010). *Physical Asset Management*. Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-751-6>
- Hernández Roca, C. R., Fernández González, R., Arce Fariña, M. E., Rey González, G., Fernández Rodríguez, Á., & Carrasco Pena, P. J. (2016). Análisis del ciclo de vida en Fragatas de la serie F-100. *IV Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad*, 2016.
- Hoseinie, S. H., Al-Chalabi, H., & Ghodrati, B. (2018). Comparison between simulation and analytical methods in reliability data analysis: A case study on face drilling rigs. *Data*, 3(2). <https://doi.org/10.3390/data3020012>
- IAM. (2024). *Asset Management an Anatomy* (cuarta). The Institute of Asset Management. <https://www.theIAM.org>
- IEC. (2001). *IEC 61703: Mathematical expressions for reliability, availability, maintainability and maintenance support terms*. <https://webstore.iec.ch/publication/597>
- ISO. (2024). *Asset management — Guidance on the management of data assets*.
- ISO 14224, & The British Standards Institution. (2016). *Iso 14224:2016[E]*. Bsi, 1999.
- Jasiulewicz-Kaczmarek, M. (2016). SWOT analysis for Planned Maintenance strategy-a case study. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 674-679. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2016.07.788>
- Jefatura de Material Naval. (2021). *PEGA*.
- Khatri, V., & Brown, C. V. (2010). Designing data governance. *Communications of the ACM*, 53(1). <https://doi.org/10.1145/1629175.1629210>
- Knezevic, J. (1996). *MANTENIBILIDAD* (Isdefe, Ed.; Primera).
- Latino, M. A., Latino, R. J., & Latino, K. C. (2019). Root cause analysis: Improving performance for bottom-line results. En *Root Cause Analysis: Improving Performance for Bottom-Line Results*. <https://doi.org/10.1201/9780429446573>

- Mahan, A. T. (2010). The Influence of Sea Power upon History, 1660–1783. En *The Influence of Sea Power upon History, 1660–1783*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511783289>
- McCool, John. (2012). *Using the Weibull distribution : reliability, modeling, and inference*. John Wiley & Sons.
- McLinn, J. A. (2010). *Practical Weibull Analysis Techniques* (Primera). Reliability Division of ASQ.
- MDN. (2023). *Política de ciencia, tecnología e innovación para el sector defensa y seguridad*.
- Medina, R. J. (2016). ¿Conoces la diferencia entre un plan estratégico de la organización, un plan estratégico de gestión de activos y un plan de gestión de activo? <https://www.linkedin.com/pulse/conoces-la-diferencia-entre-un-plan-estrat%25C3%25A9gico-de-y-medina-cmrp/?trackingId=Y6zIkCJIQZ%2BLMNxF0q8lqg%3D%3D%C2%A0>
- Melo, R. G., Lara, C. H., & Jacobo, F. G. (2009). Estimación de la confiabilidad-disponibilidad-mantenibilidad mediante una simulación tipo Monte Carlo de un sistema de compresión de gas amargo durante la etapa de ingeniería. *Instituto Mexicano del Petróleo*.
- Mesa, D. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia Et Technica*, XII(30).
- Mora, L. A. (2006). Mantenimiento Estrategico Para Empresas Industriales O De Servicio. En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Número 9).
- Mora, L. A. (2022). *Mantenimiento Vanguardia & Analytics, generador de competitividad* (CIMPRO, Ed.).
- Mora, L. A. (2024). *Analytics aplicada a mantenimiento y gestión de activos* (Alpha Editorial S. A., Ed.; Primera).
- Mora, L. A. G. (2009). *Mantenimiento : planeación, ejecución y control*. Alfaomega Grupo Editor.
- Mora, L. alberto. (2007). *Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios* (segunda).

- Morales, J. Luis. (2025). *Optimización de la Gestión de Activos y Mantenimiento en la Flota de Superficie de la Armada Nacional de Colombia mediante el Análisis Futurístico de KPI's1 y CMD2 para la Integración del SISCOP-C3* [Trabajo de tesis para optar por el título de Magister en Gestión de Activos y Mantenimiento.]. Universidad del Valle.
- Moubray, J. (2004). Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM). com. co/documentos/Sop_Med-RCM ..., 1-22.
http://www.mantenimientoplanificado.com/articulos_rcm_archivos/RCM2 EXPLICACION.pdf
- Nelson, Wayne. (1982). *Applied life data analysis*. Wiley.
- Organ, M., Whitehead, T., & Evans, M. (1997). Availability-based maintenance within an asset management programme. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 3(4).
<https://doi.org/10.1108/13552519710176854>
- Pais, E., Raposo, H., Meireles, A., & Farinha, J. T. (2019). ISO 55001 – A Strategic Tool for the Circular Economy – Diagnosis of the Organization's State. *Journal of Industrial Engineering and Management Science*, 2018(1). <https://doi.org/10.13052/jiems2446-1822.2018.005>
- Pal, M. (2015). *Ship Work Breakdown Structures through Different Ship Life Cycle Stage*.
<https://doi.org/10.3940/rina.iccas.2015.84>
- Palma-Morales, O. J., Noguera-Hidalgo, Á. L., Hernández-Sandoval, J. S., & Ávila-Robayo, D. S. (2023). Redes de narcotráfico marítimo: un análisis desde la complejidad y la simulación de sistemas sociales. *Revista Científica General José María Córdova*, 21(43), 743-764.
<https://doi.org/10.21830/19006586.1070>
- Parsons, F. G., & Wirsching, P. H. (1982). A Kolmogorov - Smirnov goodness-of-fit test for the two-parameter weibull distribution when the parameters are estimated from the data. *Microelectronics Reliability*, 22(2). [https://doi.org/10.1016/0026-2714\(82\)90174-3](https://doi.org/10.1016/0026-2714(82)90174-3)

- Pérez, M. Á. L., Piña, I. B., & Álvarez, G. V. (2021). Diseño de una metodología de mantenimiento predictivo para asegurar procesos de producción de la industria 4.0. *South Florida Journal of Development*, 2(1). <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n1-074>
- Phaal, R. (2004). Technology roadmapping—A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(1-2), 5-26. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00072-6)
- Pintelon, L., Pinjala, S. K., & Vereecke, A. (2006). Evaluating the effectiveness of maintenance strategies. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12(1), 7-20. <https://doi.org/10.1108/13552510610654501>
- Power, D. J. (2017). Decision Support, Analytics, and Business Intelligence, Third Edition. En *Decision Support, Analytics, and Business Intelligence, Third Edition*. <https://doi.org/10.4128/9781631573927>
- Puyt, R. W., Lie, F. B., & Wilderom, C. P. M. (2023). The origins of SWOT analysis. *Long Range Planning*, 56(3), 102304. <https://doi.org/10.1016/J.LRP.2023.102304>
- Rastegari, A., & Salonen, A. (2015). Strategic maintenance management: Formulating maintenance strategy. *International Journal of COMADEM*, 18(1).
- Saetia, K., Lukens, S., Pijcke, E., & Hu, X. (2019). Data-driven approach to equipment taxonomy classification. *Proceedings of the Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society, PHM*, 11(1). <https://doi.org/10.36001/phmconf.2019.v11i1.818>
- SGT, S. G. T. (2016). *Mantenimiento predictivo y monitorización estructural en plataformas militares*.
- SINTEF, & NTNU. (2015). *OREDA: offshore and onshore reliability data handbook - topside equipment* (Vol. 1).
- Smith, D. J. (2017). Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers. En *Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers*. <https://doi.org/10.1016/C2010-0-66333-4>

- Sola, Antonio., & Crespo, Adolfo. (2016). Principios y marcos de referencia de la gestión de activos. *Asociación Española de Normalización y Certificación*.
- Souibgui, M., Atigui, F., Zammali, S., Cherfi, S., & Yahia, S. Ben. (2019). Data quality in ETL process: A preliminary study. *Procedia Computer Science*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.223>
- Suarez, J. M., Bacca, V. G., Tuñón, A. de J., Caro, J. de J., & Mendoza, L. fernando. (2024, abril). Metodología de Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (ARM): Estudio Aplicado al Sistema de Propulsión del Bote de Interdicción Marítima. *XXVI CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/<https://cimga.com/Web/2024/Trabajos/2024-044.pdf>
- Tenbusch, A., & Phillips, T. (2025). A High-Low Naval Portfolio: Maximize Strategic Returns with Balanced Force Design. *Center for International Maritime Security*.
- Theodorou, V., Abelló, A., Lehner, W., & Thiele, M. (2016). Quality measures for ETL processes: from goals to implementation. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 28(15). <https://doi.org/10.1002/cpe.3729>
- Till, G. (2018). Seapower, a guide for the twenty-first century. En *Seapower*.
- Torres, F. A. (2016). *Indicadores de mantenimiento avanzados en sistema de generación de energía eléctrica de la gerencia refinería barrancabermeja grb sg2401* . EAFIT.
- Torres, L. D. (2015). *Gestión integral de activos físicos y mantenimiento* (Alfaomega, Ed.; Primera).
- UNE EN. (2018). *Proceso de Mantenimiento e Indicadores Asociado UNE EN 17007*.
- UNE EN. (2020). *UNE-EN 15341:2008 Mantenimiento - Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento*.

- Villamil, M. A. (2021). *Strategic Analytical Dashboard Architectural Framework Approach Of The Management Maintenance - Palermo Sociedad Portuaria Con Norma Europea Une Pne-En-15341* [Tesis Para Optar Por El Título De Magíster]. Universidad EAFIT.
- Wilson, E. (2020). The differences between Descriptive, Diagnostic, Predictive y Cognitive Analytics. *Institute of Business Forecasting and Planning*. <https://demand-planning.com/2020/01/20/the-differences-between-descriptive-diagnostic-predictive-cognitive-analytics/>
- Work, R. O. (2004). Small combat ships and the future of the navy. *Issues in Science and Technology*, 21(1).
- Xiong, Z., Lv, J., Xie, Z., & Xu, Y. (2023). Influence Factor of Naval Vessel's Equipment under Optimized Sailing Strategy. *Mathematical Problems in Engineering*, 2023(1). <https://doi.org/10.1155/2023/5906332>