

UNIVERSIDAD DE LA DEFENSA NACIONAL
FACULTAD DE LA ARMADA
ESCUELA DE GUERRA NAVAL

ESPECIALIZACIÓN EN CONDUCCIÓN TÁCTICA Y OPERACIONAL NAVAL (ECTON)



TRABAJO INTEGRADOR FINAL

Técnicas de mantenimiento predictivo en unidades navales de más de 25 años de la
Armada Argentina

Autor: Capitán de Fragata ejecutivo Maximiliano Martín Medancich

Tutor: Capitán de Navío (RE) Bravermann

Lugar y Fecha: Buenos Aires, 14 de septiembre de 2024

Índice de Contenidos

RESUMEN	2
PALABRAS CLAVES	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO I: El gasto en Defensa y su consecuencia en el mantenimiento naval.....	7
CAPITULO II: El mantenimiento en Unidades Navales en la Armada Argentina	166
CAPITULO III: Técnicas e instrumentos predictivos de mantenimiento en buques	27
CAPITULO IV: Impacto de las técnicas en buques de la Armada Argentina.....	41
CONCLUSIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	53
GLOSARIO	56

Índice de Ilustraciones y tablas

Ilustración 1 Gasto militar en países seleccionados de América Latina y el Caribe en 2022(en millones de dólares estadounidenses)	8
Ilustración 2 Gasto militar en Argentina de 2008 a 2021(en millones de dólares estadounidenses)	9
Ilustración 3 Gasto militar en Brasil de 2008 a 2021(en miles de millones de dólares estadounidenses) ..	9
Ilustración 4 Gasto militar en Chile de 2008 a 2021(en millones de dólares estadounidenses.....	10
Ilustración 5 Gastos en Defensa de la Argentina entre los años 1960 a 2023	11
Ilustración 6 Sector de interés del Organigrama del Estado Mayor General de La Armada.....	18
Ilustración 7 Descripción de los tipos de mantenimiento y su órgano de ejecución.....	21
Ilustración 8 Sensor de vibración	30
Ilustración 9 Sensor de temperatura.....	31
Ilustración 10 Sensor de corriente	31
Ilustración 11 Sensor de presión	32
Ilustración 12 Sensor de nivel	32
Ilustración 13 Análisis de aceite	33
Ilustración 14 Análisis de Vibración.....	34
Ilustración 15 Análisis de los circuitos.....	34
Ilustración 16 Termografía	35
Ilustración 17 Monitoreo por ultrasonido.....	35
Ilustración 18 Radiografía.....	36
Ilustración 19 interferómetro láser	36
Ilustración 20 Monitoreo eléctrico.....	37
Ilustración 21 Medición electromagnética.....	37

RESUMEN

La Armada Argentina se enfrenta a desafíos importantes debido a décadas de escasa inversión y desgaste de sus unidades, reflejado en la obsolescencia técnica de sus equipos. A pesar de un aumento presupuestario, la asignación prioritaria a gastos corrientes como son los sueldos del personal, plantea preocupaciones sobre la falta de recursos para inversiones en modernización.

La falta de inversiones específicas en mantenimiento naval genera desafíos operativos a largo plazo. Estrategias en el Mantenimiento, junto con la optimización logística, son esenciales para superar estas limitaciones. Experiencias pasadas de Argentina y Chile muestran que la implementación exitosa de sistemas de Mantenimiento Predictivo puede conducir a reducciones significativas en los costos totales de mantenimiento de las flotas navales.

Además, la Marina de los Estados Unidos está explorando proyectos de Mantenimiento Predictivo de última generación en sus barcos de superficie, buscando mejorar la eficiencia operativa y reduciendo costos.

A pesar de que el programa de mantenimiento planificado original en las Unidades navales ha sido exitoso y ha permitido mantener buques veteranos con un gran potencial, la evolución de las estrategias de mantenimiento industrial ofrece ahora herramientas que podrían actualizar el sistema de mantenimiento, haciéndolo más confiable y a un costo menor.

El objetivo principal de este estudio es analizar exhaustivamente las ventajas asociadas con las prácticas del mantenimiento predictivo en las unidades navales de la Armada Argentina que tienen más de veinticinco años de servicio, Se busca comprender cómo un aumento significativo en uso de estas técnicas pueden impactar en las operaciones militares

PALABRAS CLAVES

Mantenimiento Naval – Eficiencia del Mantenimiento – Gestión de Activos – Mantenimiento y recursos – Obsolescencia de equipos.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento desempeña un papel crucial en la gestión de activos dentro de las armadas a nivel mundial, especialmente en unidades navales con más de veinte años de servicio. La longevidad y la complejidad de estos buques requieren un enfoque de mantenimiento robusto, que combine distintas técnicas para asegurar su operatividad y eficiencia. Los enfoques de mantenimiento han evolucionado considerablemente, incorporando prácticas avanzadas, cada una con particularidades y diferencias que son esenciales para una implementación de un mantenimiento más adaptativo a los fines y medios específicos.

Mantenimiento Correctivo: Este tipo de mantenimiento se realiza en respuesta a una avería o falla inesperada. Es un enfoque reactivo, lo que puede resultar en costos elevados y tiempos de inactividad significativos hasta que se pueda resolver el problema. Aunque históricamente ha sido una práctica común en unidades navales, su dependencia exclusiva puede llevar a un desgaste acelerado de los activos debido a la falta de planificación previa. (García Palencia, 2012)

Mantenimiento Preventivo: Basado en un programa planificado de inspecciones y tareas realizadas a intervalos regulares, este enfoque busca prevenir fallas antes de que ocurran. En el contexto militar, se emplea una alta proporción de mantenimiento preventivo para los equipos a bordo, asegurando que operen con una probabilidad de falla menor al 5% en un período específico. Este enfoque es crucial para garantizar el funcionamiento confiable de sistemas críticos como la planta propulsora y el sistema de armas. (García Palencia, 2012) Sin embargo, aunque el mantenimiento preventivo reduce el riesgo de fallas inesperadas, puede no ser suficientemente eficiente en términos de costos cuando se trata de buques con décadas de servicio.

Mantenimiento Predictivo: Enfocado en el monitoreo en tiempo real de las condiciones de los equipos mediante sensores y tecnologías avanzadas, el mantenimiento predictivo permite un análisis constante para detectar tendencias y anomalías. Este análisis ayuda a prever las próximas tareas de mantenimiento cuando se identifican signos de deterioro, optimizando la vida útil de los activos. Aunque su implementación puede requerir una inversión inicial significativa para la adquisición e instalación de sensores, su capacidad para realizar mantenimiento justo a tiempo y

evitar costos de fallas inesperadas lo convierte en una opción cada vez más relevante, especialmente en unidades veteranas. Esta técnica no solo prolonga la vida útil de los equipos, sino que también maximiza la disponibilidad operativa de las unidades navales en operaciones. (Ávila da Costa, Martins, Millet, Santos Couto, Silva, & Matos, 2023)

Mantenimiento Proactivo: Evolucionando desde el mantenimiento predictivo, el mantenimiento proactivo integra técnicas avanzadas y herramientas de inteligencia artificial para no solo predecir fallas, sino también para comprender y abordar las causas subyacentes de dichas fallas. Este enfoque, que busca identificar las raíces de los problemas antes de que estos se manifiesten, está ganando terreno en la gestión de activos navales, especialmente en flotas con activos críticos de alta antigüedad. (AKZOTEC, 2023)

Mantenimiento Modificativo: Este tipo de mantenimiento busca incrementar la eficacia de los mecanismos mediante la alteración, innovación o reforma del diseño original o de las especificaciones técnicas del equipo. Las acciones principales en este tipo de mantenimiento incluyen:

- **Modificación:** Cambios en diseños, elementos o partes del equipo para mejorar su función original.
- **Modernización:** Actualización de los medios para equiparar sus características a las de tecnologías más recientes.
- **Transformación:** Cambio de diseños, elementos o partes del equipo para que cumpla una función distinta a la original. (BARDERI, 1987)

Ingeniería de Mantenimiento y Gestión de Activos: La ingeniería de mantenimiento tiene como objetivo optimizar tanto el sistema como las condiciones operativas de los equipos. Según la norma ISO 55000, un activo se define como "un objeto o entidad que tiene un valor real o potencial para una organización". (ISO, 2023) En este sentido, la gestión de activos no es una cuestión secundaria, sino que debe ser incorporada de manera sistemática en la gestión operativa de la organización para optimizar y administrar el ciclo de vida de los activos, asegurando su función operativa óptima. (Díaz Povedano & Díaz Serrano, 2023)

Las técnicas avanzadas de mantenimiento complementan y optimizan las estrategias tradicionales, ofreciendo enfoques más precisos y eficaces para la gestión de activos. Entre estas técnicas se encuentran el Condition-Based Maintenance (CBM),

el Condition-Based Maintenance Plus (CBM+) y el Reliability-Centered Maintenance (RCM), cada uno con características y beneficios únicos.

Condition-Based Maintenance (CBM) o Mantenimiento Basado en Condiciones: Es un enfoque que se basa en el monitoreo en tiempo real para evaluar el estado de los equipos y determinar el momento oportuno para realizar el mantenimiento. A diferencia del mantenimiento preventivo, que sigue intervalos de tiempo predefinidos, el CBM realiza intervenciones solo cuando se detectan signos de deterioro a través de sensores y sistemas de monitoreo. Este enfoque permite una asignación más eficiente de los recursos, ya que el mantenimiento se realiza únicamente cuando es necesario, lo que puede resultar en una reducción significativa de costos y una mejora en la eficiencia operativa.

Condition-Based Maintenance Plus (CBM+): Es una evolución del CBM que integra herramientas y técnicas avanzadas para ofrecer un análisis más detallado y predictivo. Mientras que el CBM se centra en el monitoreo y análisis básico del estado del equipo, el CBM+ utiliza datos históricos y modelos analíticos avanzados para anticipar problemas futuros y ajustar las estrategias de mantenimiento en función de estas previsiones. Este enfoque no solo mejora la planificación del mantenimiento, sino que también prolonga la vida útil de los equipos, siendo especialmente útil en entornos complejos y para equipos de alta criticidad.

Reliability-Centered Maintenance (RCM), o Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad: Es un enfoque estructurado que busca maximizar la fiabilidad y el rendimiento de los activos mediante la identificación y el análisis de las funciones críticas del equipo y las posibles fallas. El RCM se basa en una metodología que evalúa la función de cada componente, identifica las consecuencias de sus fallas y determina la estrategia de mantenimiento más adecuada para cada situación. Este proceso combina técnicas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo para asegurar que las funciones críticas se mantengan operativas y eficientes. (DEPARTAMENTO DE LA MARINA DE EEUU, marines.mil, 2020)

En el contexto del mantenimiento naval, la implementación de técnicas de mantenimiento predictivo es especialmente relevante, ya que ha demostrado reducir significativamente la tasa de fallas y garantizar una mayor disponibilidad operativa de las unidades navales en operaciones. Este enfoque proactivo permite a las armadas

mejorar la eficiencia operativa, extender la vida útil de sus activos más antiguos y reducir costos operativos, contribuyendo así al éxito de las misiones y al desarrollo del arte operacional. (MORENO CAYUELA, 2016)

La implementación del RCM es particularmente beneficiosa para unidades navales con más de veinte años de servicio. Permite adaptar las estrategias de mantenimiento a las condiciones específicas y a los requisitos operativos de cada buque. Al priorizar las acciones de mantenimiento en función del impacto de las fallas y los recursos disponibles, el RCM mejora la efectividad del mantenimiento y reduce el riesgo de fallas operacionales críticas.

Estas técnicas avanzadas de mantenimiento se complementan con procesos de análisis estructurados como el Proceso de Análisis de Ingeniería de Mantenimiento (MP-EA) y el Proceso de Revisión de Efectividad de Mantenimiento de la Flota (FLEETMER).

MP-EA: Examina la preparación reciente, la confiabilidad y el costo de los componentes para identificar y priorizar candidatos valiosos para el análisis RCM o revisión CBM+, basados principalmente en la "Carga de Mantenimiento" que es el esfuerzo, recursos y tiempo necesarios para mantener un equipo o sistema en funcionamiento. Incluye el tiempo del personal, el costo de repuestos, herramientas y el tiempo en que el equipo está fuera de servicio. También abarca la frecuencia y complejidad del mantenimiento, así como el impacto en las operaciones.

. Este proceso permite una asignación más eficiente de los recursos analíticos, asegurando que las decisiones sobre el cronograma RCM estén justificadas y documentadas. (DEPARTAMENTO DE LA MARINA DE EEUU, www.navsea.navy.mil, 2019)

FLEETMER: Proporciona una revisión continua de la efectividad del mantenimiento aplicado a la flota de buques, utilizando técnicas avanzadas para optimizar los resultados del mantenimiento y mejorar la disponibilidad operativa. (DEPARTAMENTO DE LA MARINA DE EEUU, www.navsea.navy.mil, 2019)

La integración de estos procesos garantiza que las técnicas de mantenimiento se apliquen de manera estratégica y efectiva, maximizando la operatividad y la eficiencia de los activos navales en el marco de una gestión proactiva y adaptada a las necesidades específicas de la flota.

CAPITULO I: El gasto en Defensa y su consecuencia en el mantenimiento naval

1.1. Gastos en Defensa Argentina

La Armada de la República Argentina (ARA) enfrenta desafíos significativos debido a décadas de escasa inversión y desgaste natural de sus unidades. La obsolescencia técnica de las unidades de combate, como las fragatas MEKO 360 y las corbetas MEKO 140, que han perdido gradualmente capacidades tácticas debido a la ausencia de inversiones. La situación de la Fuerza de Submarinos, de la Aviación Naval y la Infantería de Marina también es similar, lo que limita la capacidad operativa de la Armada. (Defensa.com)

El Ministerio de Economía presentó el proyecto de ley de Presupuesto Nacional para 2023, destacando un aumento leve pero insuficiente en comparación con años anteriores. La asignación total para el Ministerio de Defensa y las Fuerzas Armadas es de aproximadamente \$545.7 mil millones de pesos, con un enfoque preocupante en gastos corrientes. De este total, \$453.9 mil millones se destinan a sueldos del personal civil y militar, representando el 83% de los fondos disponibles. (Zona-militar.com)

Los gastos corrientes, particularmente en sueldos para el personal militar y civil, sugiere una asignación significativa de recursos hacia el mantenimiento del personal existente, en detrimento de inversiones en equipamiento y modernización. Esta distribución presupuestaria plantea desafíos para impulsar mejoras sustanciales y actualizaciones tecnológicas necesarias para fortalecer la capacidad operativa a largo plazo.

La ausencia de un plan de modernización del mantenimiento en unidades con mas de 25 años de servicio revela desafíos continuos para mantener y actualizar la capacidad operativa de las unidades navales. Esta limitación podría tener consecuencias negativas en términos de preparación y eficiencia a largo plazo.

La asignación sustancial de fondos a gastos corrientes plantea preocupaciones sobre la flexibilidad financiera para implementar mejoras tecnológicas cruciales para la modernización de las actividades de mantenimiento.

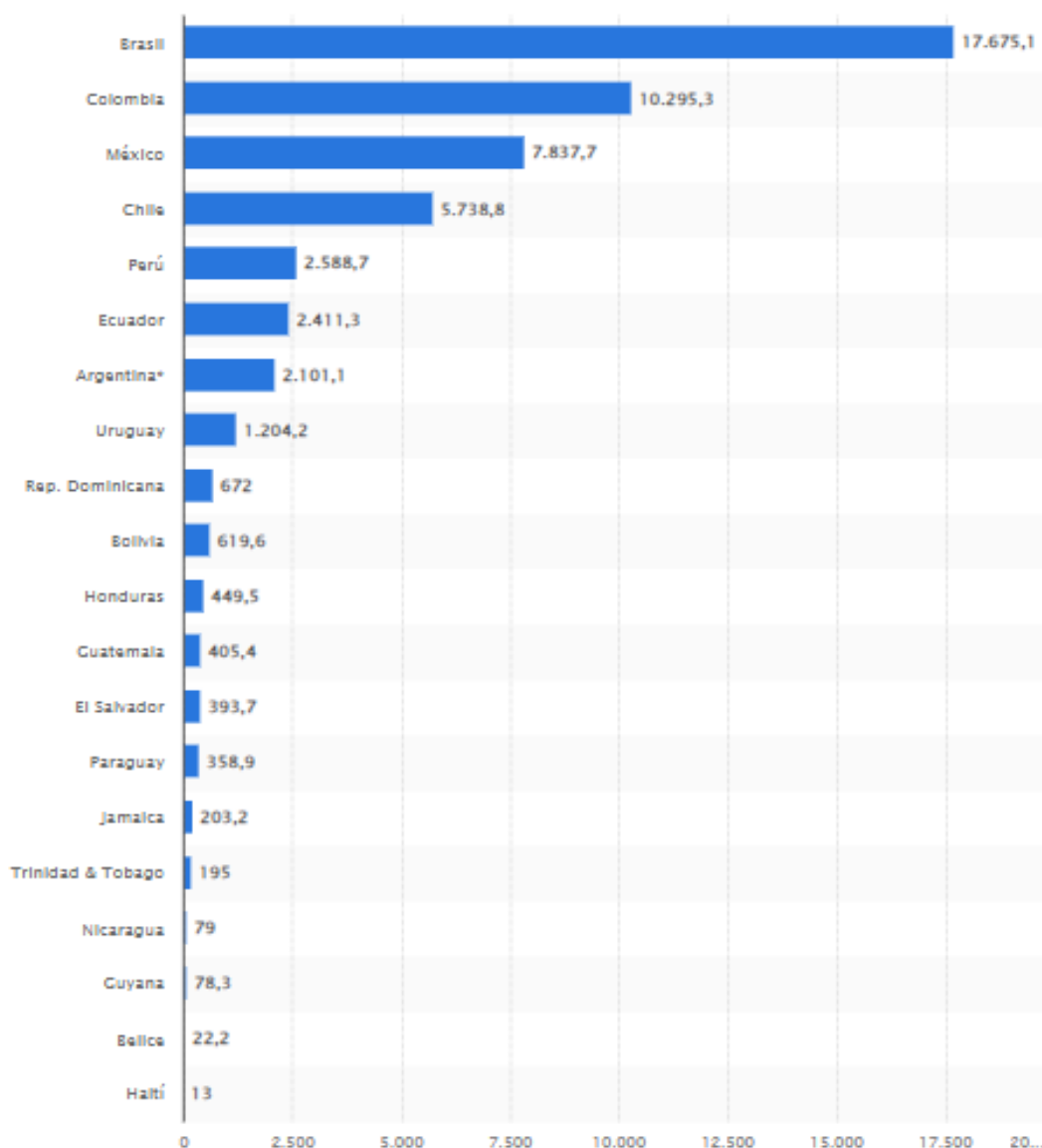
Dado que el presupuesto está sujeto a negociaciones políticas, la asignación final puede verse influenciada por consideraciones políticas en lugar de necesidades

estratégicas puras. Esta necesidad de negociación política podría impactar en la efectividad y capacidad operativa de la Armada Argentina, ya que las decisiones presupuestarias podrían no estar exclusivamente impulsadas por criterios militares o estratégicos.

1.2. Gastos en Defensa Regional

A continuación se muestra un gráfico con el gasto en Defensa regional expresado en millones de dólares estadounidenses.

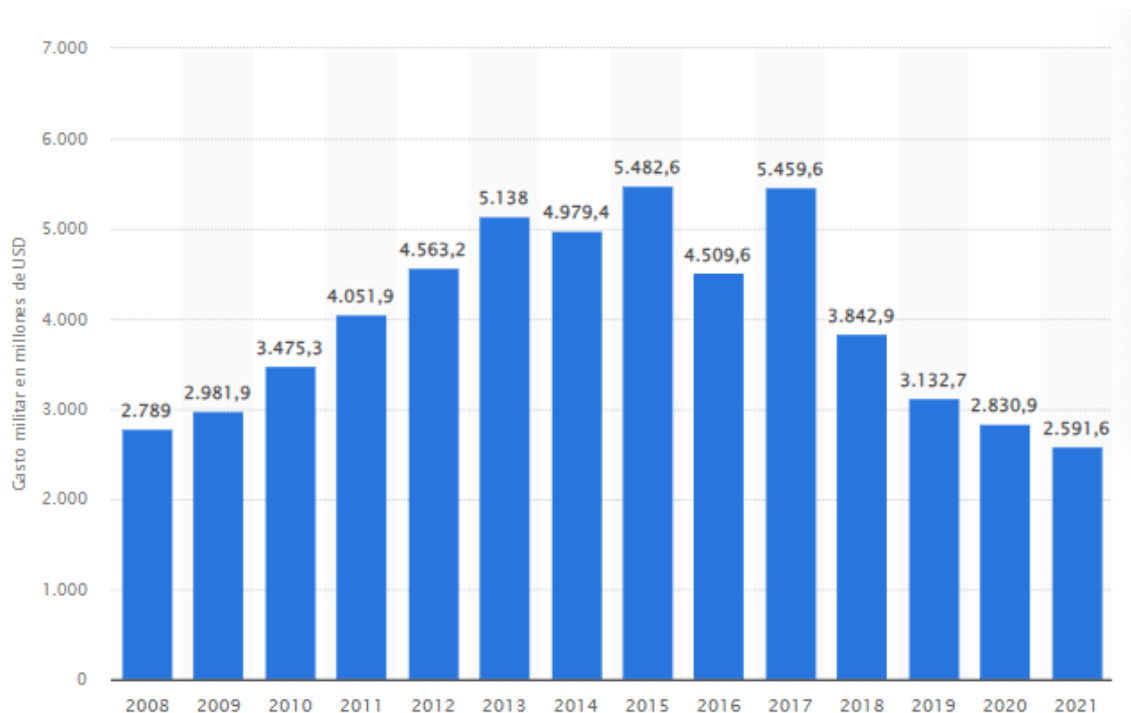
Ilustración 1 Gasto militar en países seleccionados de América Latina y el Caribe en 2022(en millones de dólares estadounidenses)



Fuente: <https://es.statista.com/estadisticas/1224838/gasto-militar-america-latina-caribe-por-pais/>

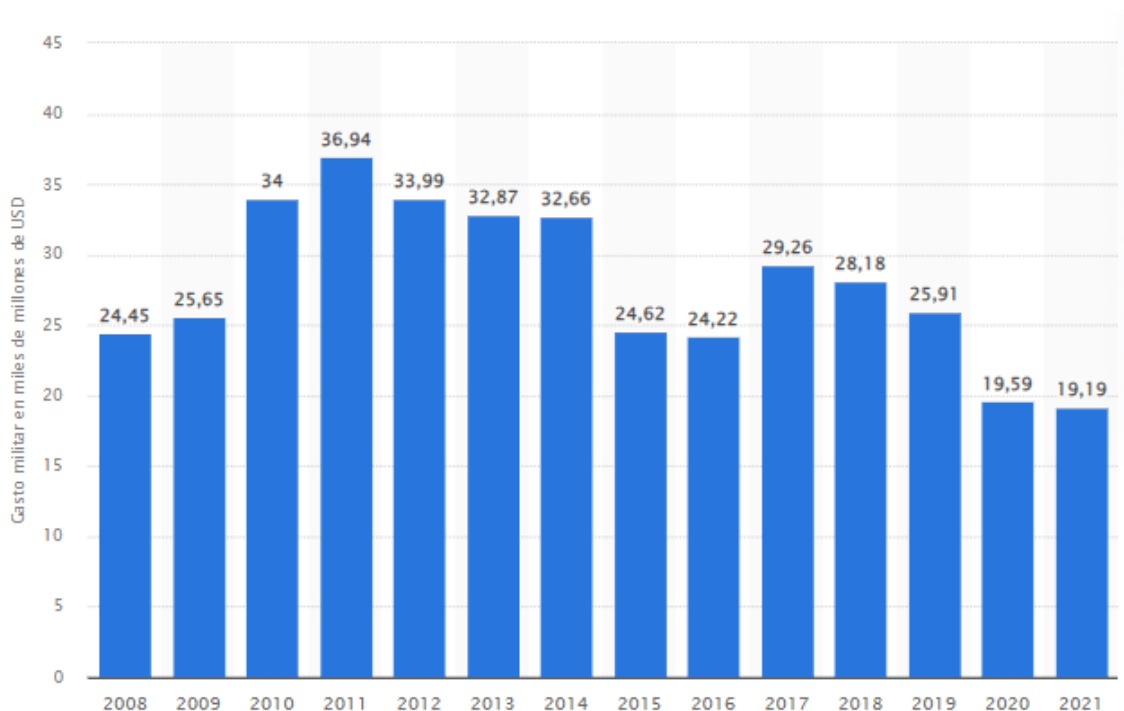
De los países Argentina, Brasil y Chile se presentan los desarrollos de los gastos en la última década.

Ilustración 2 Gasto militar en Argentina de 2008 a 2021(en millones de dólares estadounidenses)



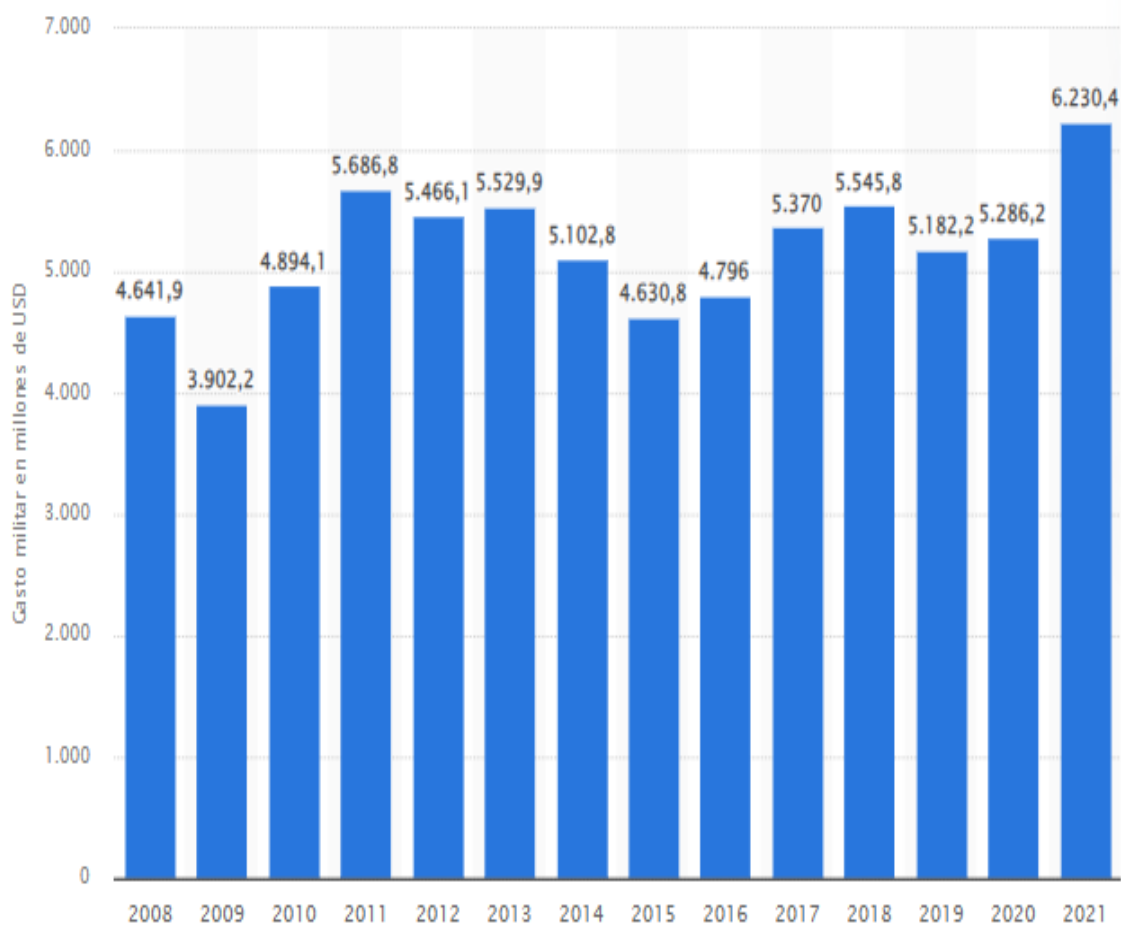
Fuente: <https://es.statista.com/estadisticas/1224958/gasto-militar-argentina/>

Ilustración 3 Gasto militar en Brasil de 2008 a 2021(en miles de millones de dólares estadounidenses)



Fuente: <https://es.statista.com/estadisticas/1224918/gasto-militar-brasil/>

Ilustración 4 Gasto militar en Chile de 2008 a 2021(en millones de dólares estadounidenses)



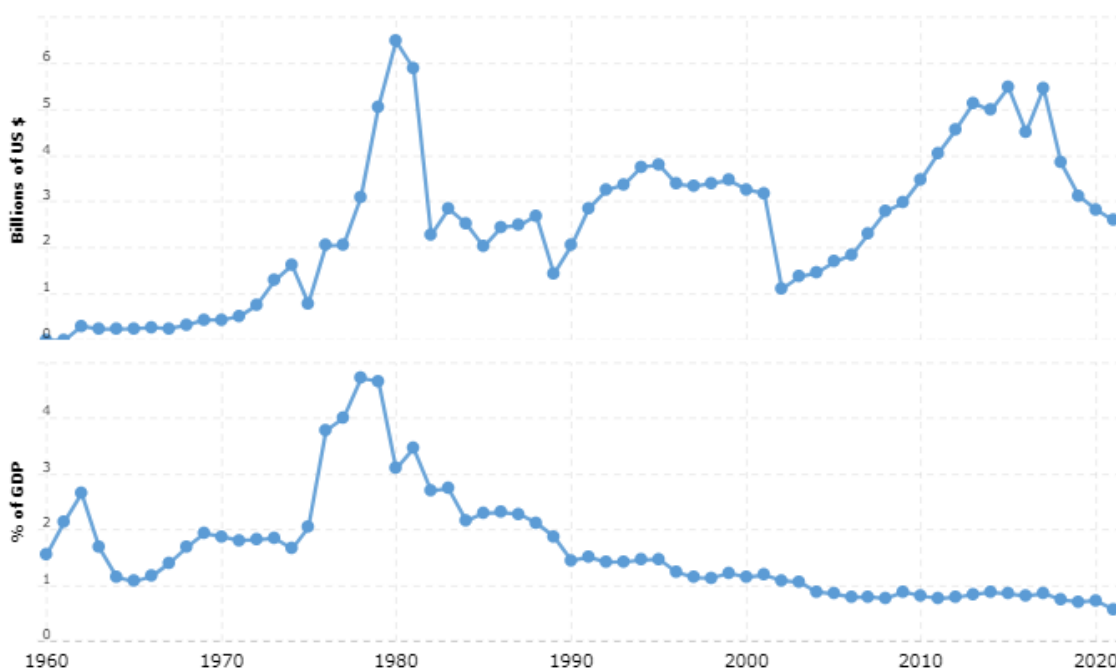
Fuente: <https://es.statista.com/estadisticas/1224944/gasto-militar-chile/>

De los datos estadísticos se ve que países como Argentina y Brasil están reduciendo el gasto en Defensa, sin embargo Chile hasta el año 2021 tiene una tendencia al incremento del gasto.

1.3. Gastos en Defensa de Argentina desde los años 60

A continuación se muestra el gasto en defensa de la Argentina desde los años 60. En estos gastos están incluidos los sueldos del personal militar y civil, incluidas pensiones de jubilación del personal militar y servicios sociales para el personal; operación y mantenimiento; obtención; investigación y desarrollo militar; y ayuda militar

Ilustración 5 Gastos en Defensa de la Argentina entre los años 1960 a 2023



Fuente: <https://www.macrotrends.net/countries/ARG/argentina/military-spending-defense-budget>

En los últimos años, se ha observado una disminución significativa en el gasto militar, este declive podría atribuirse a diversos factores económicos y a las prioridades gubernamentales vigentes.

El porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB) destinado a defensa ha experimentado variaciones, estos datos reflejan momentos de mayor o menor énfasis en el gasto militar en relación con la economía general del país.

La década de 1980 destacó por un aumento significativo en el gasto militar marcados por tensiones geopolíticas y conflictos armados, alcanzando su punto máximo en 1980.

Ciertos eventos económicos, como la crisis financiera de 2001-2002, dejaron una huella evidente en el presupuesto militar, con una marcada disminución en 2002. Los años posteriores exhibieron una recuperación gradual del gasto.

A lo largo de la década de 1990, el gasto militar se mantuvo relativamente estable.

Estos datos históricos reflejan no solo patrones económicos, sino también el contexto histórico, incluyendo la dictadura militar a fines de la década de 1970 y principios de la década de 1980, así como las subsiguientes transiciones democráticas que influyeron en las prioridades nacionales de defensa.

1.4. Gastos en Defensa de Argentina y sus consecuencias en el mantenimiento naval de unidades con más de veinticinco años de servicio

La falta de inversiones específicas en el mantenimiento naval y la modernización de unidades plantean desafíos significativos para la Armada, que se ve obligada a mantener su flota operativa sin los recursos necesarios para actualizar equipos desgastados. Este escenario puede tener consecuencias negativas a largo plazo en términos de adiestramiento y alistamiento.

Desde la perspectiva del mantenimiento naval, mejorar la operación de las unidades requiere adoptar enfoques efectivos para optimizar la gestión y ejecución de las tareas de mantenimiento.

En cuanto al Mantenimiento Predictivo, se propone la implementación de tecnologías de monitoreo en tiempo real y sensores para recopilar datos operativos y de rendimiento de los equipos. A través del análisis de estos datos y el uso de algoritmos predictivos, se busca anticipar posibles fallas y determinar los intervalos óptimos para realizar el mantenimiento, garantizando así la fiabilidad operativa de los equipos que cuentan con más de veinticinco años de servicio.

La identificación de componentes críticos y sistemas clave que requieren intervenciones preventivas es esencial. Basándose en el rendimiento histórico y las condiciones operativas específicas, se busca asegurar una gestión proactiva de los recursos disponibles para mantener la operatividad de la flota de navíos de la Armada.

Optimizar la Logística de Repuestos se convierte en un aspecto crucial, manteniendo inventarios eficientes que minimicen los tiempos de inactividad. La implementación de sistemas de gestión de inventario, respaldados por datos históricos y pronósticos, es fundamental para anticipar necesidades y evitar la obsolescencia de repuestos.

La obsolescencia de los medios y la falta de presupuestos adecuados generan serios problemas para la Armada, ya que los equipos envejecidos frecuentemente dejan de contar con proveedores de repuestos, complicando aún más su mantenimiento y operatividad. Esta situación se agrava cuando se suman los embargos de repuestos impuestos por conflictos latentes no resueltos, lo que limita aún más la disponibilidad de componentes esenciales. Como resultado, la flota se ve comprometida en su capacidad operativa, enfrentando riesgos crecientes de fallas

críticas y una mayor dependencia de soluciones improvisadas o reparaciones temporales, lo que afecta negativamente tanto la preparación para el combate como la eficiencia en el adiestramiento.

1.5. La experiencia de Argentina en los ochenta y Chile en los noventa

En la década de 1990, la Armada de Chile adoptó exitosamente el Sistema de Mantenimiento Predictivo, enfocándose en técnicas como el análisis de vibraciones y partículas de desgaste, así como el monitoreo del rendimiento. Tras años de experiencia, se determinó que este sistema debe ser una parte esencial del mantenimiento, y su implementación adecuada ha demostrado ser exitosa. Los esfuerzos técnicos y administrativos han arrojado resultados óptimos, logrando una notable reducción en los costos totales de mantenimiento de la flota naval. (OSORIO OLAVE, 2000)

Por otro lado, la Armada Argentina comenzó a implementar un sistema similar diez años antes, en los años ochenta, específicamente en las nuevas unidades MEKO y T42. Durante esta fase, se introdujeron técnicas avanzadas de mantenimiento predictivo, como el monitoreo continuo de vibraciones, análisis de aceite para detectar partículas de desgaste y la termografía infrarroja para identificar puntos calientes en sistemas eléctricos y mecánicos. Estas técnicas han sido fundamentales para predecir fallas antes de que ocurran, mejorando significativamente la disponibilidad operativa de las unidades. El sistema de propulsión de este tipo de unidades es un ejemplo de la aplicación de mantenimiento predictivo.

A lo largo de las décadas siguientes, la Armada Argentina ha acumulado una valiosa experiencia en la aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo, especialmente en los destructores clase MEKO 360 y las fragatas clase T42. Esta experiencia ha sido aprovechada para formar equipos especializados en el monitoreo de turbinas, cuya función principal es la predicción y prevención de fallas en estos sistemas críticos. Estos equipos van más allá de las tareas de los operadores mantenedores, enfocándose en la generación de documentación que garantiza la operación segura de las turbinas por parte de las tripulaciones. Además, producen informes técnicos detallados que son utilizados como referencia para la actualización y mejora de los programas de mantenimiento en otras unidades navales. Un enfoque

similar se ha implementado en los talleres de motores diésel alternativos, optimizando la prevención de fallas y asegurando el rendimiento continuo de estos sistemas en toda la flota.

1.6. Experiencias más actuales e innovadoras

En 2019, la Marina actualizó su guía para incluir consideraciones sobre el mantenimiento predictivo en la revisión de planes de mantenimiento para los portaaviones, submarinos y barcos de superficie. Esta actualización marcó un cambio significativo en la política de mantenimiento, incorporando enfoques predictivos que antes no estaban contemplados. En 2022, se emitieron directrices que establecen que el mantenimiento predictivo debe aplicarse a todos los nuevos y existentes barcos de superficie, submarinos y portaaviones, siempre que sea técnicamente factible, rentable y beneficioso. Estas directrices buscan asegurar una integración efectiva del mantenimiento predictivo en todas las flotas, priorizando los barcos de superficie debido a su mayor desarrollo en esta área en comparación con los submarinos y exclusivamente los portaaviones dado que enfrentan desafíos únicos debido a su entorno operativo y las especificaciones técnicas de sus sistemas, lo que requiere enfoques adaptativos a sus necesidades específicas. (United States Government Accountability Office, 2022)

La Marina de los Estados Unidos ha estado a la vanguardia en la adopción de prácticas avanzadas de mantenimiento predictivo para sus embarcaciones de superficie. En 2020, iniciaron un proyecto piloto en el USS Mason (DDG-87), y en 2022 expandieron este esfuerzo para incluir el USS McCampbell (DDG-85) y el USS Bulkeley (DDG-84). Estos proyectos piloto tienen como objetivo validar conceptos de mantenimiento predictivo, desarrollar técnicas avanzadas de análisis de datos y optimizar la forma en que se emiten alertas de mantenimiento al personal de a bordo. Hasta junio de 2022, el USS Mason ha sido la única nave en la Marina que ha probado estos conceptos y ha evaluado cómo responde la tripulación a las alertas generadas mediante estas técnicas. (United States Government Accountability Office, 2022)

La experiencia acumulada con los proyectos piloto ha demostrado el potencial del mantenimiento predictivo para mejorar la disponibilidad operacional y reducir los costos de mantenimiento. La Marina de los Estados Unidos sigue avanzando en la integración

de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, para mejorar aún más la precisión y efectividad del mantenimiento predictivo. Estas tecnologías prometen transformar el mantenimiento naval al proporcionar diagnósticos más precisos y reducir el tiempo de inactividad de las embarcaciones. (United States Government Accountability Office, 2022)

CAPITULO II: El mantenimiento en Unidades Navales en la Armada Argentina

2.1. Sistema de Mantenimiento actual

El mantenimiento en la Armada Argentina se rige por las Normas del Sistema de Mantenimiento Planificado (SMP), establecidas en la publicación R.G. 7-001 "P". Este sistema organiza la asignación de responsabilidades a distintos niveles de dirección y ejecución y aborda la planificación, programación, control, ejecución y evaluación del mantenimiento de los equipos. Su objetivo principal es asegurar el máximo alistamiento operativo de las unidades navales.

El máximo responsable del SMP es el Director de la Dirección General del Material de la Armada (DGMN). Sus principales responsabilidades son las siguientes:

Formulación de Instrucciones y Directivas: Desarrollar y administrar el Sistema de Mantenimiento Planificado, tanto a bordo como en tierra, en conformidad con la reglamentación y las políticas establecidas por el Jefe del Estado Mayor General de la Armada. El Director debe controlar el cumplimiento de estas directivas y evaluar los resultados para realizar actualizaciones y mejoras continuas.

Establecimiento de Requisitos Contractuales: Incluir en las cláusulas de los contratos relacionados con la construcción, transformación o modificación de buques, así como la instalación de nuevos equipos o sistemas, la exigencia de que todo el material sea entregado con el Sistema de Mantenimiento Planificado conforme a estas normas.

Adquisición de Materiales: Incluir en las cláusulas de los contratos para la adquisición de materiales que, por su importancia y complejidad, lo requieran, la exigencia de que estos materiales sean provistos con el Sistema de Mantenimiento Planificado desarrollado de acuerdo con las normas establecidas.

Determinación de Programas de Instrucción y Adiestramiento: Colaborar con el Director General de Instrucción Naval en la definición de los programas de instrucción y adiestramiento relacionados con el Sistema de Mantenimiento Planificado para todo el personal de la Armada. (PUBLICACIÓN ARA R..G. 7-001, 1980)

Según el Reglamento de Orgánica de la Armada (ROA), fuera de lo establecido en el Reglamento de Mantenimiento Planificado, las responsabilidades de la Dirección General del Material Naval (DGMN) incluyen, entre otras:

Intervención en Políticas de Material: Participar en la formulación de políticas relacionadas con el material naval, así como en el diseño y promulgación del ciclo de mantenimiento del mismo.

Elaboración y Supervisión de Planes de Mantenimiento: Contribuir en la elaboración y supervisión de los planes de mantenimiento de los sistemas navales de la Armada.

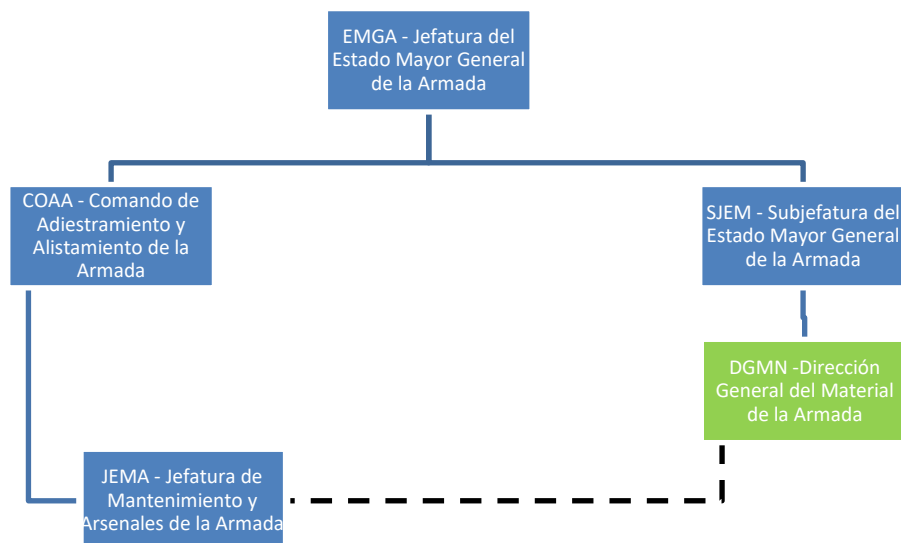
Evaluación del Estado del Material: Evaluar el estado de uso y conservación del material de la Armada para verificar la correcta aplicación de las normas para su empleo y evaluar los resultados de los planes de mantenimiento con el objetivo de actualizarlos y perfeccionarlos.

Coordinación con la Jefatura de Mantenimiento y Arsenales: Realizar las coordinaciones necesarias para que la Jefatura de Mantenimiento y Arsenales de la Armada participe en la programación, conducción y control del mantenimiento de los medios navales no asignados al Comando de Adiestramiento y Alistamiento de la Armada

Orientación de Inversiones en Repuestos: Dirigir la inversión en repuestos hacia los sistemas que tengan una considerable vida útil remanente, evitando invertir en aquellos que hayan sido discontinuados, se consideren obsoletos o cuyo mantenimiento no resulte viable, en función de la prestación operativa efectiva que contribuye al sostenimiento de una capacidad. (PUBLICACIÓN ARA R.G. 1-007, 2014)

Como se puede observar en el siguiente organigrama, que representa una parte de la estructura de conducción superior y mandos medios de la Armada Argentina (enfocada en el área de interés), la Dirección General del Material Naval (DGMN cuadro de color verde) tiene una dependencia orgánica del Subjefe del Estado Mayor General de la Armada (SJEM). Y mantiene una relación funcional con la Jefatura de Mantenimiento y Arsenales (JEMA) para la ejecución de las tareas de mantenimiento. (PUBLICACIÓN ARA R.G. 1-007, 2014)

Ilustración 6 Sector de interés del Organigrama del Estado Mayor General de La Armada



Cuadro de elaboración propia.

Aunque el manual de Mantenimiento Planificado no menciona explícitamente a la Jefatura de Mantenimiento y Arsenales (JEMA), esta tiene responsabilidades clave en la planificación, control y ejecución de las normas de mantenimiento del material de la Armada. Entre sus funciones destacan:

Participar en la planificación, control y ejecución de las normas de mantenimiento del material de la Armada: La JEMA es responsable de asegurar que las normas de mantenimiento sean adecuadamente planificadas y aplicadas dentro de su área de competencia.

Entender en la programación, conducción y control de los Planes de Mantenimiento del material de la Armada: Esta función incluye la supervisión de la correcta implementación y seguimiento de los planes de mantenimiento para garantizar la operatividad de los medios asignados.

Entender en la obtención, distribución y control administrativo de repuestos de origen extranjero: La JEMA se encarga de gestionar los repuestos necesarios para la operación y mantenimiento de los medios operativos y de apoyo dependientes del Comando de Adiestramiento y Alistamiento de la Armada. Esto incluye la confección de los listados de adquisición correspondientes.

Desarrollo y aplicación de las capacidades tecnológicas, humanas y materiales de los Arsenales y Talleres subordinados: La JEMA coordina y supervisa el uso de los

recursos tecnológicos y humanos de los arsenales y talleres, asegurando su efectividad y eficiencia en el mantenimiento de la flota. (PUBLICACIÓN ARA R.G. 1-007, 2014)

Estas responsabilidades están claramente delineadas en el Manual de Logística de la Armada Argentina, que establece los escalones de mantenimiento y define quiénes son responsables de ejecutar cada tarea dentro de la estructura de la Armada.

El mantenimiento se clasifica en diferentes escalones, basados en el grado de complejidad de las tareas y las capacidades técnicas disponibles:

Primer Escalón (Primario):

- Alcance: Tareas de inspección y mantenimiento de menor envergadura.
- Ejecutores: Realizado por la dotación propia de la unidad con las facilidades asignadas.

Segundo Escalón (Intermedio):

- Alcance: Inspección y solución de fallas que impliquen reemplazos o reparaciones menores.
- Ejecutores: Realizado dentro de la unidad con participación de grupos de apoyo técnico de mantenimiento.

Tercer Escalón (Principal):

- Alcance: Inspección periódica y solución de fallas que superan la capacidad de la dotación.
- Ejecutores: Realizado en arsenales y talleres con facilidades asignadas o requeridas a terceros.

Cuarto Escalón (Mayor):

- Alcance: Obras de gran envergadura como modificaciones, modernizaciones o reparaciones mayores.
- Ejecutores: Realizado por arsenales, fabricantes de equipos o establecimientos similares, y puede requerir la desafectación temporaria del equipo o unidad. (PUBLICACIÓN R.G. 1-154, 2019)

Para la Armada Argentina, de acuerdo con las publicaciones sobre Mantenimiento Planificado, la normativa logística y la Disposición 1/95 de la Dirección General del Material Naval (DGMN), que establece definiciones clave y tipos de mantenimiento, así

como los responsables y la planificación del proceso de mantenimiento en concordancia con las dos primeras publicaciones, se reconocen tres formas fundamentales de mantenimiento. Cada una de estas formas tiene un enfoque específico, que se detalla a continuación.

1. Mantenimiento Preventivo: El mantenimiento preventivo se enfoca en la ejecución sistemática de actividades diseñadas para evitar fallas o pérdidas de eficacia del material debido a accidentes o desgaste natural. Su objetivo principal es prolongar la vida útil de los equipos mediante tareas de conservación e inspección, que se realizan según las normas específicas para cada tipo de material.

- **Conservación:** Consiste en proteger los mecanismos contra factores destructivos internos o externos, e incluye la limpieza y presentación tanto interior como exterior del equipo.
- **Inspección:** Busca verificar que los mecanismos se mantengan dentro de las especificaciones de funcionamiento, tales como ajustes, exactitud y rendimiento.

Este tipo de mantenimiento es descentralizado en su ejecución, y lo realiza principalmente el usuario, quien debe ser consciente del valor económico del material a su cargo y su impacto en la eficacia operativa. La supervisión se efectúa a través de la cadena de mando, y las normas para su uso y conservación son establecidas por el organismo técnico competente. (BARDERI, 1987)

2. Mantenimiento Correctivo: El mantenimiento correctivo se centra en la restauración de la eficacia original de los mecanismos mediante el cambio de partes, ajustes y calibraciones. Se realiza principalmente cuando el equipo ha sufrido fallas o averías. Este tipo de mantenimiento suele requerir la intervención de técnicos especializados, aunque en situaciones de reparaciones simples o de emergencia, el usuario puede ejecutar ciertas tareas. Sin embargo, debido a consideraciones de costo y eficiencia, se evita acometer reparaciones extensas sin los medios y conocimientos adecuados.

Para ciertos buques, se establecen reparaciones generales coincidentes con inspecciones periódicas para minimizar costos y prevenir averías mayores. (BARDERI, 1987)

3. Mantenimiento Modificativo: El mantenimiento modificativo busca incrementar la eficacia de los mecanismos mediante la alteración, innovación o reforma del diseño original o de las especificaciones técnicas del equipo. Las acciones principales en este tipo de mantenimiento incluyen:

- **Modificación:** Cambios en diseños, elementos o partes del equipo para mejorar su función original.
- **Modernización:** Actualización de los medios para equiparar sus características a las de tecnologías más recientes.
- **Transformación:** Cambio de diseños, elementos o partes del equipo para que cumpla una función distinta a la original. (BARDERI, 1987)

A continuación se transcribe un cuadro detallado con algunas modificaciones que no cambian el sentido dado por el autor sobre la organización en escalones, los responsables y las tareas específicas en cada nivel del "Manual de Logística de las Fuerzas Navales" de la Escuela de Guerra Naval, elaborado por el Profesor CF (RE) BARDERI.

Ilustración 7 Descripción de los tipos de mantenimiento y su órgano de ejecución

Escalón	Nombre	Tipo de Mantenimiento	Órgano de Ejecución	Ámbito
1° Escalón	Mantenimiento Primario	- Predictivo	- Usuario operador	Unidad (en navegación, puerto, tierra o base)
		- Preventivo	- Usuario especializado	
		- Correctivo	- Grupo de Apoyo Técnico (eventual)	
2° Escalón	Mantenimiento Intermedio	- Correctivo	- Usuario especializado	Unidad, Buque sostén, Bases secundarias o avanzadas
			- Grupo de Apoyo Técnico	
			- Talleres Menores, Especializados o Generales	
3° Escalón	Mantenimiento Principal	- Correctivo	- Talleres especializados y generales	Bases principales o industria civil
		- Modificativo	- Industria privada (terceros bajo supervisión)	
4° Escalón	Mantenimiento Mayor	- Modificaciones	- Industria privada	Bases principales o industria civil
		- Modernizaciones	- Talleres especializados y generales	
		- Reparaciones Mayores	- Talleres Generales e Industria privada	

Cuadro de Escalones de mantenimiento (BARDERI, 1987)

Finalmente las unidades de la Armada pueden encontrarse en diferentes estados de alistamiento según su situación operativa o de mantenimiento:

1. Unidad en Construcción:

En proceso de construcción, sin incluir el tiempo dedicado a la investigación, desarrollo y proyecto.

2. Unidad en Habilitación:

Unidad que ha finalizado su construcción y está realizando pruebas de material y adiestramiento.

3. Unidad en Actividad:

Unidad cuyo material y estado de adiestramiento le permiten estar lista para operar según los plazos fijados por la conducción operativa de la Armada.

4. Unidad en Receso Temporario:

Unidad que está ejecutando trabajos de envergadura o que, debido a movimientos transitorios de personal, no puede clasificarse como en actividad.

5. Unidad en Reserva:

Unidad fuera de servicio temporalmente, ya sea por el estado del material u otras causas como obsolescencia, economía o escasez de personal.

6. Unidad Radiada:

Unidad que, debido a su vejez, obsolescencia o mal estado de conservación, ya no puede cumplir la función para la cual fue creada. (PUBLICACIÓN R.G. 1-154, 2019)

2.2. Desafíos y limitaciones

Actualmente nos enfrentamos a diversas limitaciones, en gran parte debido al alto costo de los repuestos y la dificultad para encontrar alternativas fiables para estas piezas. Cada elemento componente de los equipos de estas veteranas unidades es costoso y difícil de obtener.

Es evidente que el sistema actual de mantenimiento de activos vitales para la defensa de la Nación se ve afectado por la falta de suministro oportuno de repuestos, lo que podría resultar en ineficiencia y periodos de inactividad no planificados (OSORIO

OLAVE, 2000). Además, la dependencia de repuestos de naciones extranjeras con las que no necesariamente mantenemos relaciones favorables agrega una capa adicional de complejidad a esta cuestión. En este contexto, el beneficio potencial derivado de un cambio en la forma de gestionar el mantenimiento de estos activos cobra una importancia estratégica innegable.

Por lo tanto, es necesario considerar enfoques alternativos para el mantenimiento naval (OSORIO OLAVE, 2000). Aunque el sistema actual ha cumplido su función en la Armada Argentina durante un tiempo, las unidades navales enfrentan nuevos desafíos que requieren una revisión profunda. El objetivo es garantizar la operatividad continua y efectiva de estas unidades en un entorno que demanda mayor eficiencia y resiliencia.

Dado que ya actuamos de manera predictiva orgánicamente, es fundamental explorar cómo podemos mejorar y adoptar un enfoque proactivo. La tecnología ha proporcionado respuestas en forma de Plataformas Inteligentes de Mantenimiento (PIM) que combina la gestión del mantenimiento con la Inteligencia Artificial (IA).

Las Plataformas Inteligentes de Mantenimiento (PIM) son ecosistemas versátiles e inteligentes que abarcan aplicaciones y hardware interconectados. Esto permite una comunicación efectiva entre todos los aspectos de las operaciones de mantenimiento, incluyendo personas, activos, software y hardware. Como resultado, las PIM pueden aprovechar los datos de manera más eficiente, automatizar tareas, realizar predicciones inteligentes y ahorrar tiempo, facilitando las operaciones de mantenimiento.

La evolución hacia las Plataformas Inteligentes de Mantenimiento se originó en la década de 1980, cuando las empresas comenzaron a priorizar la fiabilidad, calidad y seguridad para minimizar el tiempo de inactividad. El mantenimiento centrado en la fiabilidad se volvió fundamental.

A lo largo de las décadas de 1980 a 2000, el mantenimiento preventivo reemplazó al mantenimiento correctivo a medida que las empresas buscaban un mayor control y menos tiempo de inactividad para mantener su competitividad.

La aparición de nuevas normas ISO, como la ISO 9000 de 1987, fue un reflejo de la relación directa con el mantenimiento industrial. Aunque hasta 1994, las normas de la serie ISO 9000 no consideraron al mantenimiento como una actividad principal de las empresas, a partir de la revisión hecha en 1994, el mantenimiento pasó a ser reconocido por la ISO como un requisito de control del proceso (TAVARES, 2023)

El uso de hojas de cálculo de Excel se convirtió en una herramienta común para la gestión del mantenimiento. Sin embargo, con la llegada de nuevas tecnologías, como las Plataformas Inteligentes de Mantenimiento (PIM), estas planillas se consideraron insuficientes para abordar eficazmente las necesidades de gestión del mantenimiento (Ávila da Costa, Martins, Millet, Santos Couto, Silva, & Matos, 2023)

Actualmente, nos enfrentamos a diversas limitaciones en el mantenimiento de unidades navales, principalmente debido al alto costo de los repuestos y la dificultad para encontrar alternativas fiables. Cada componente de los equipos en estas veteranas unidades es costoso y difícil de obtener, lo que afecta directamente la eficiencia operativa.

El sistema de mantenimiento actual, fundamental para los activos de defensa de la Nación, sufre debido a la falta de suministro oportuno de repuestos. Esta situación puede derivar en ineficiencia y periodos de inactividad no planificados. (OSORIO OLAVE, 2000) Además, la dependencia de repuestos provenientes de naciones extranjeras, con las que no siempre mantenemos relaciones favorables, añade una capa adicional de complejidad. En este contexto, se hace evidente la necesidad de reconsiderar y mejorar la gestión del mantenimiento de estos activos críticos, lo que tiene una importancia estratégica indiscutible.

Por tanto, es crucial explorar enfoques alternativos para el mantenimiento naval. (OSORIO OLAVE, 2000) Aunque el sistema actual ha servido a la Armada Argentina durante décadas, las unidades navales enfrentan ahora nuevos desafíos que requieren una revisión profunda para garantizar su operatividad continua y efectiva en un entorno que demanda mayor eficiencia y resiliencia.

En la Armada Argentina, ya se aplican estrategias de mantenimiento predictivo de manera orgánica. Sin embargo, es esencial avanzar hacia un enfoque proactivo más robusto. La evolución tecnológica ha proporcionado soluciones avanzadas, como las Plataformas Inteligentes de Mantenimiento (PIM), que integran la gestión del mantenimiento con la Inteligencia Artificial (IA).

Las Plataformas Inteligentes de Mantenimiento (PIM) son sistemas versátiles e interconectados que permiten una comunicación efectiva entre todos los aspectos del mantenimiento, incluyendo personas, activos, software y hardware. Esto facilita la

automatización de tareas, la realización de predicciones inteligentes y el ahorro de tiempo, mejorando así las operaciones de mantenimiento.

La evolución hacia las Plataformas Inteligentes de Mantenimiento se originó en la década de 1980, cuando las empresas comenzaron a priorizar la fiabilidad, calidad y seguridad para minimizar el tiempo de inactividad. El mantenimiento centrado en la fiabilidad se volvió fundamental.

A lo largo de las décadas de 1980 a 2000, el mantenimiento preventivo reemplazó al mantenimiento correctivo a medida que las empresas buscaban un mayor control y menos tiempo de inactividad para mantener su competitividad.

La aparición de nuevas normas ISO, como la ISO 9000 de 1987, fue un reflejo de la relación directa con el mantenimiento industrial. Aunque hasta 1994, las normas de la serie ISO 9000 no consideraron al mantenimiento como una actividad principal de las empresas, a partir de la revisión hecha en 1994, el mantenimiento pasó a ser reconocido por la ISO como un requisito de control del proceso (TAVARES, 2023)

El uso de hojas de cálculo de Excel se convirtió en una herramienta común para la gestión del mantenimiento. Sin embargo, con el avance de la tecnología, las Plataformas Inteligentes de Mantenimiento (PIM) han demostrado ser más adecuadas para abordar las complejas necesidades de gestión del mantenimiento, ya que superan las limitaciones de las planillas tradicionales. (Ávila da Costa, Martins, Millet, Santos Couto, Silva, & Matos, 2023)

Al observar las marinas del mundo, especialmente la Marina de los Estados Unidos, podemos identificar un enfoque avanzado y sistematizado en el mantenimiento y gestión de sus buques y equipos. Este enfoque es esencial para garantizar la operatividad y la preparación constante de la flota, en un entorno cada vez más exigente y complejo. Dos de los documentos clave que guían estas operaciones son la "NAVSEA Instruction 4790.30", emitida por el Comandante de la Flota de Mar de la Marina, y el "Manual MCO 4151.22" de la Infantería de Marina de los Estados Unidos. Estos documentos no solo establecen los estándares y procedimientos para el mantenimiento, sino que también abordan los desafíos futuros que enfrentará la marina en términos de sostenibilidad, eficiencia y modernización.

La "NAVSEA Instruction 4790.30" es un documento fundamental que regula los procedimientos y estándares de mantenimiento para los buques de la Marina de los

Estados Unidos. Este documento establece directrices claras para asegurar que todos los buques operen al máximo de su capacidad, minimizando el tiempo fuera de servicio y optimizando los recursos disponibles. La instrucción abarca todo el ciclo de vida del buque, desde su construcción hasta su retiro, y enfatiza la importancia de un mantenimiento proactivo y planificado para evitar fallas inesperadas y costosas. (DEPARTAMENTO DE LA MARINA DE EEUU, www.navsea.navy.mil, 2023)

Por su parte, el "Manual MCO 4151.22" de la Infantería de Marina de los Estados Unidos presenta un enfoque innovador para el mantenimiento de equipos. Este manual promueve prácticas que se adaptan a las necesidades específicas del Cuerpo de Infantería, donde la movilidad y la capacidad de respuesta rápida son cruciales. El enfoque está orientado a maximizar la disponibilidad operativa de los equipos a través de programas de mantenimiento predictivo y correctivo, asegurando que las fuerzas puedan desplegarse y operar con la máxima eficiencia en cualquier entorno. (DEPARTAMENTO DE LA MARINA DE EEUU, marines.mil, 2020)

Mirando hacia el futuro, tanto la NAVSEA Instruction 4790.30 como el Manual MCO 4151.22 enfrentarán desafíos significativos. Con el avance de la tecnología y la creciente complejidad de los sistemas navales y de infantería, se requerirá una constante actualización y adaptación de los procedimientos de mantenimiento. Además, la integración de nuevas tecnologías, como la inteligencia artificial y la automatización, promete revolucionar los métodos actuales, mejorando la eficiencia pero también demandando nuevas competencias y adaptaciones en la fuerza laboral. La sostenibilidad ambiental también se perfila como un reto clave, obligando a la Marina y a la Infantería de Marina a desarrollar métodos de mantenimiento que minimicen el impacto ecológico sin comprometer la operatividad.

CAPITULO III: Técnicas e instrumentos predictivos de mantenimiento en buques

3.1. Sistema de mantenimiento Predictivo

El sistema de mantenimiento predictivo es una visión avanzada que permite llevar a cabo el mantenimiento de equipos mediante la monitorización en tiempo real de sus sistemas para determinar su estado actual. (Novoa Paradela, EIRAS, FONTELA, & Otros, 2020) A diferencia del enfoque tradicional que se basa en el cálculo del tiempo medio entre fallas para programar actividades de mantenimiento, el mantenimiento predictivo se apoya en la monitorización continua para identificar el momento más adecuado para realizar las intervenciones, lo que reduce los costos asociados al mantenimiento, especialmente en buques antiguos con escasez de repuestos, donde el mantenimiento planificado ha generado procedimientos excesivos. (VILLA CARRO, 2017)

Aunque el mantenimiento preventivo requiere una planificación minuciosa y extensa, también conlleva una carga administrativa significativa, relacionada con la documentación de su aplicación y la generación de informes para evaluar el estado operativo de los equipos. Este enfoque es efectivo si se siguen rigurosamente los procedimientos establecidos en las fichas de mantenimiento y no se omiten pasos cruciales. No obstante, la situación se complica debido a la falta de disponibilidad de repuestos de calidad, lo que a menudo obliga a utilizar componentes de fabricantes alternativos, arriesgando la obtención de datos que no reflejen con precisión el estado real de los equipos.

El éxito del mantenimiento predictivo en un buque depende en gran medida de la correcta selección de los equipos que se someterán a este enfoque. Es crucial identificar aquellos equipos que se beneficiarán de las técnicas predictivas, así como elegir la tecnología adecuada para su monitoreo. (VILLA CARO, 2017)

Mejorar la eficiencia de los equipos mecánicos, eléctricos y de control de averías a bordo, especialmente cuando tienen más de cuarenta años, presenta desafíos significativos. Dado que reemplazar todos estos equipos no es viable, se requiere una evaluación de riesgos exhaustiva para determinar cuáles deben ser sustituidos, cuáles pueden ser monitoreados con tecnologías avanzadas y cómo implementar dicho

monitoreo de manera efectiva. En este contexto, es necesario reconsiderar el sistema de mantenimiento para asegurar que cumpla con su objetivo final de manera efectiva.

La implementación de tecnologías avanzadas de monitoreo surge como una solución económicamente efectiva para mejorar la eficiencia y prolongar la vida útil de los equipos existentes. Estas tecnologías permiten detectar fallas potenciales antes de que ocurran, facilitando una gestión proactiva del mantenimiento. Además, el procesamiento de datos proporciona una visión más precisa del estado del buque.

En cuanto a la protección de las tripulaciones, estas tecnologías establecen límites que garantizan una navegación segura, sin desalentar el compromiso de los marinos con su deber, su vocación por el mar y su lealtad a la Patria.

El objetivo del “mantenimiento predictivo” es eliminar fallas en la maquinaria mediante la provisión de datos necesarios para programar acciones de mantenimiento. Las tecnologías predictivas incluyen, pero no se limitan a, análisis de vibraciones, termografía, espectrografía de líquidos refrigerantes y lubricantes (análisis de aceites), ferrografía, ultrasonidos y técnicas de alineación láser. (VILLA CARRO, 2017)

Siguiendo lo establecido en la OPNAV INSTRUCTION 4700.7M “Maintenance Policy for Navy Ships” (2019) de la US Navy, el Mantenimiento Basado en la Condición (CBM) es una estrategia de mantenimiento derivada del análisis y basada en los principios del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). El CBM incluye procesos de mantenimiento y capacidades derivadas de evaluaciones en tiempo real o casi real obtenidas de sensores incorporados y mediciones externas utilizando equipos portátiles o inspección directa. Su objetivo es realizar el mantenimiento basándose en la evidencia de la necesidad para garantizar la seguridad, la confiabilidad y la disponibilidad, a un costo aceptable. (OPNAV, 2019)

Este concepto se complementa con el Informe GAO-23-105556 de diciembre de 2022, donde se explica que el Departamento de Defensa ha comenzado a aplicar el mantenimiento predictivo, una práctica que utiliza tecnología de monitoreo de condiciones como sensores, análisis de datos, algoritmos e inteligencia artificial para programar el mantenimiento según la necesidad evidenciada. Este informe también aclara que el mantenimiento predictivo no siempre requiere el uso de inteligencia artificial y aprendizaje automático, pero subraya la importancia del papel humano en el

diseño, desarrollo y monitoreo de estas tecnologías. (GAO Government Accountability Office EEUU, 2022)

Además, el Informe GAO-23-105556 destaca dos categorías principales de mantenimiento: reactivo y proactivo. El mantenimiento no planificado es reactivo; el mantenimiento planificado es proactivo y utiliza técnicas preventivas y predictivas. El mantenimiento predictivo se define como cualquier esfuerzo que utilice la tecnología de monitoreo de condiciones o análisis de datos históricos para anticipar necesidades de mantenimiento, reduciendo así el mantenimiento reactivo no programado. El Mantenimiento Basado en la Condición Plus (CBM+) lleva el CBM a un nivel superior, integrando nuevas tecnologías y capacidades para mejorar la disponibilidad de los sistemas y componentes a lo largo de su ciclo de vida. Esto incluye no solo los requerimientos técnicos del CBM, sino también la infraestructura y elementos programáticos que permiten su funcionamiento como un proceso integral y eficiente. (GAO Government Accountability Office EEUU, 2022)

3.2. Sensores para Mantenimiento Predictivo basado en la condición

Para llevar a cabo tareas de mantenimiento predictivo, es crucial contar tanto con las herramientas adecuadas como con personal altamente capacitado. El monitoreo de la condición implica la medición de parámetros en los equipos que pueden indicar posibles fallas. Idealmente, el equipo de monitoreo debe ser capaz de detectar alteraciones con suficiente antelación para prevenir una avería, lo que, a su vez, ahorra costos asociados con el mantenimiento correctivo y extiende la vida útil de los activos. Sin embargo, para aprovechar al máximo estos beneficios, es esencial seleccionar las herramientas de monitoreo de condición apropiadas.

El mantenimiento basado en la condición comienza con inspecciones simples. Pequeñas alteraciones, como incrementos de temperatura o presión, ruidos inusuales, vibraciones excesivas u olores distintos, a menudo son señales tempranas de que algo podría estar funcionando mal. No obstante, las técnicas de monitoreo de la condición abarcan un amplio espectro, desde inspecciones básicas hasta el uso de tecnologías avanzadas. La elección de la técnica adecuada dependerá de la complejidad de los equipos y la naturaleza de los activos a monitorear. (Ávila da Costa, Martins, Millet, Santos Couto, Silva, & Matos, 2023)

Los sensores desempeñan un papel fundamental en el mantenimiento predictivo, siendo dispositivos especialmente diseñados para medir y monitorear diversos parámetros físicos en activos críticos que forman parte de un sistema en funcionamiento. Estos sensores permiten una detección temprana de posibles fallas, lo que es crucial para tomar acciones preventivas antes de que se produzcan averías graves. Además, su implementación no solo reduce los costos de mantenimiento, sino que también maximiza la disponibilidad operativa de los equipos, garantizando una mayor seguridad y confiabilidad en las operaciones. A medida que la tecnología avanza, la precisión y capacidad de estos sensores continúan mejorando, lo que refuerza su importancia en las estrategias de mantenimiento moderno. A continuación, se presentan algunos ejemplos de sensores ampliamente utilizados a bordo en las marinas del mundo:

Sensores de vibración: Estos sensores permiten el monitoreo en tiempo real del estado de los activos, y su conectividad permite análisis espectrales comparativos entre diferentes fechas o equipos similares. Pueden detectar una variedad de fallas tempranas, como desgaste en engranajes, desalineación, desequilibrio y holguras mecánicas.

Ilustración 8 Sensor de vibración



Fuente: <https://www.sicma21.com/tecnicas-de-monitoreo-del-estado/>

Sensores de temperatura: El monitoreo constante de la temperatura de activos y equipos es crítico. Los sensores de temperatura detectan cambios anómalos que podrían indicar problemas inminentes, como fallas de lubricación, sobrecalentamiento o cambios en los modos de operación.

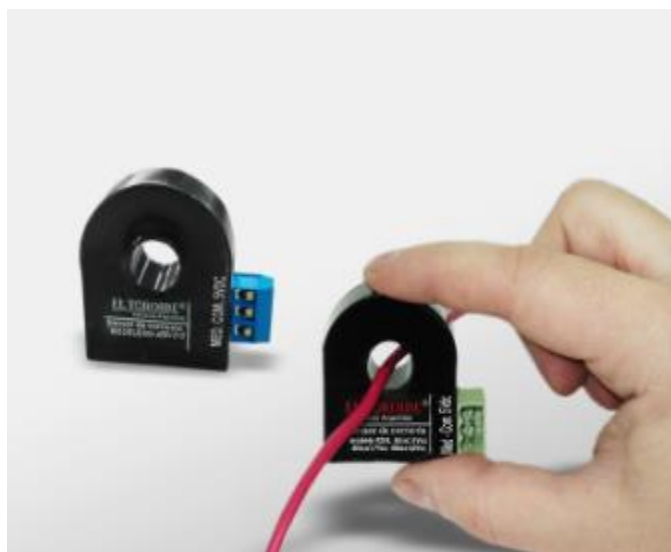
Ilustración 9 Sensor de temperatura



Fuente: <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/sensores-temperatura.htm>

Sensores de corriente eléctrica: Estos sensores brindan información sobre el comportamiento y la eficiencia de los equipos al analizar el consumo de energía en tiempo real. Pueden detectar problemas como picos de corriente, caídas de fase, consumo excesivo de energía y conexiones sueltas.

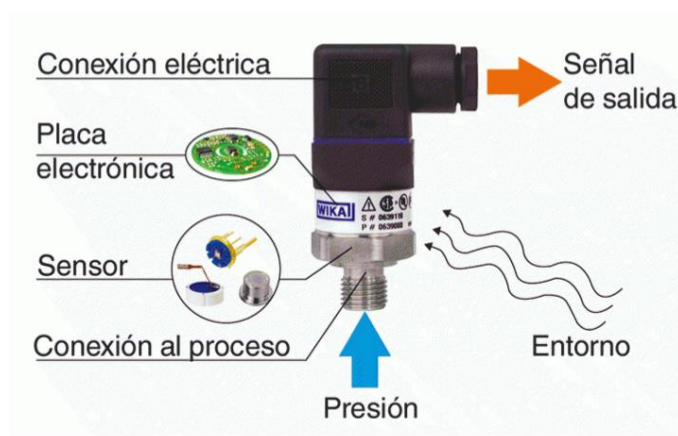
Ilustración 10 Sensor de corriente



Fuente: <https://www.eltoroide.com/variacion-laboratorio-trifasico.html>

Sensores de presión: Diseñados para medir y monitorear los niveles de presión de fluidos o gases en equipos industriales y sistemas. Proporcionan información en tiempo real sobre variaciones de presión, lo que permite detectar anomalías, desgaste o deterioro en los componentes.

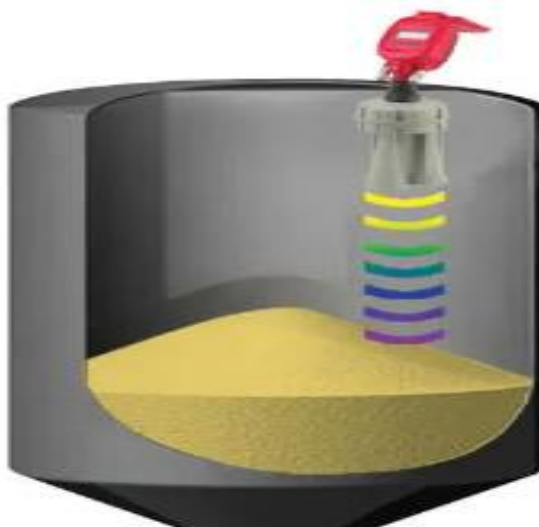
Ilustración 11 Sensor de presión



Fuente: <https://www.bloginstrumentacion.com/productos/como-funciona-un-transmisor-de-presion/>

Sensores de nivel: Esenciales para medir el nivel de materia prima, permiten identificar situaciones anómalas como pérdidas de contenido, fluctuaciones inesperadas o niveles peligrosamente altos o bajos. Detectan problemas como fallas en alarmas o sistemas de control, desgaste o corrosión en recipientes y tuberías, bloqueos en el flujo de materiales y derrames (Fractal Tech S.L., 2023)

Ilustración 12 Sensor de nivel



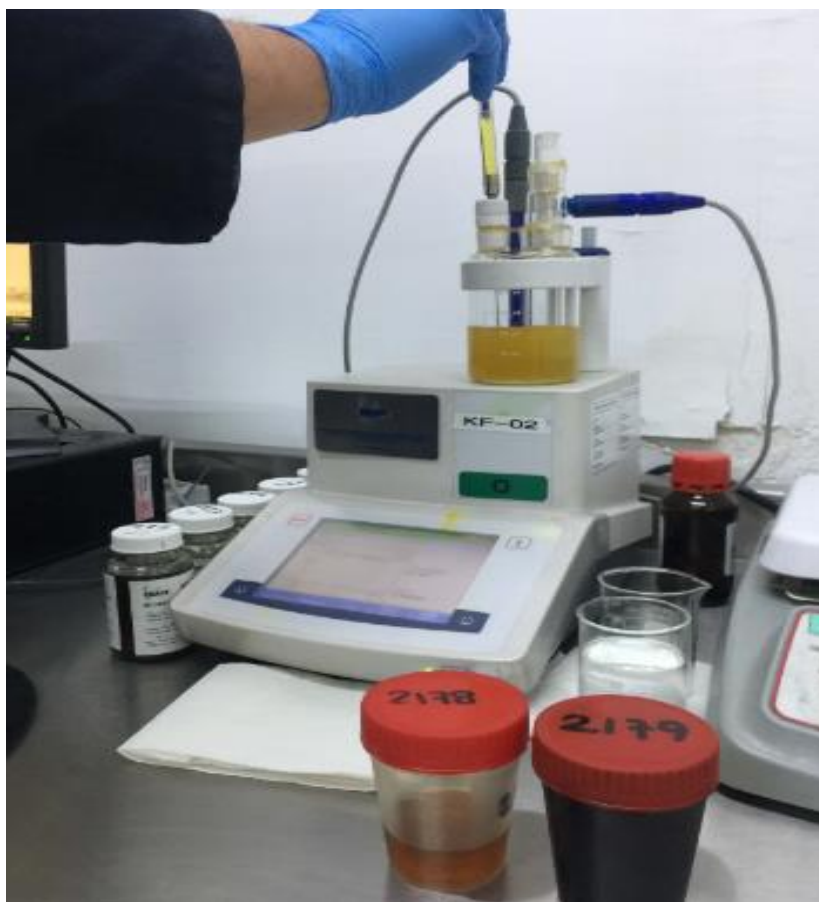
Fuente: <https://www.directindustry.es/prod/binmaster/product-30027-1371995.html>

3.3. Técnicas para el Mantenimiento Predictivo basado en la condición

El mantenimiento basado en la condición se inicia con inspecciones que pueden detectar cambios en los parámetros operativos de los equipos. Estas alteraciones, como variaciones en la temperatura, presión inusual, sonidos anómalos, vibraciones excesivas u olores extraños, suelen ser indicativas de problemas potenciales. A medida que se profundiza en las técnicas de monitorización de la condición, se emplean diversas herramientas y métodos avanzados para evaluar de manera más precisa el estado de los equipos y predecir posibles fallas. A continuación, se ofrece un resumen de algunas de estas técnicas:

Análisis del Aceite: Esta técnica se aplica al aceite de máquinas y fluidos para detectar desgaste, sobrecalentamiento o contaminación. Puede identificar niveles anormales de partículas, como hierro, que pueden indicar desgaste y contaminación. El análisis del aceite es especialmente eficaz para prevenir fallas en los engranajes y los rodamientos.

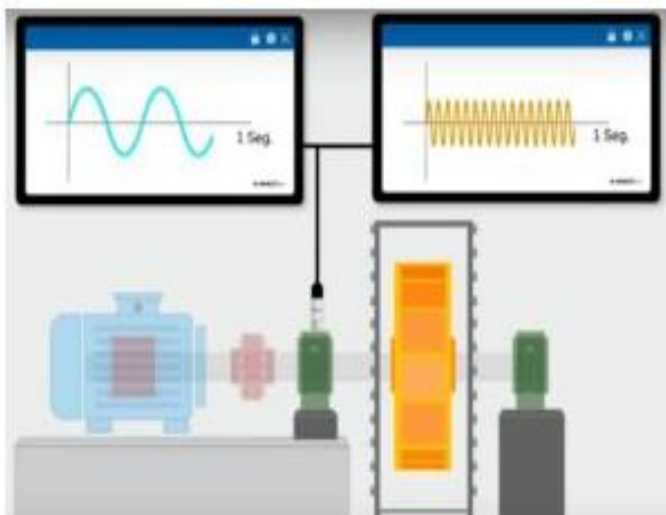
Ilustración 13 Análisis de aceite



Fuente: <https://blog.bmpi.com.mx/noticias/beneficios-de-utilizar-el-analisis-de-aceite.html>

Análisis de Vibración: El análisis de vibración es una de las técnicas más populares para el mantenimiento predictivo. Puede detectar desalineamientos, desequilibrios y desgaste antes de que causen una avería. Esta técnica es vital para prevenir problemas, reducir el consumo de energía y mejorar la eficiencia de las máquinas.

Ilustración 14 Análisis de Vibración



Fuente: <https://www.valborsoluciones.com/mantenimiento/analisis-de-vibraciones-mantenimiento-predictivo/>

Análisis de Circuitos de Motores: Esta técnica se utiliza para evaluar el estado de los motores eléctricos y detectar problemas como desequilibrios eléctricos y aislamiento defectuoso. Además de prevenir fallas, el análisis de circuitos de motores puede reducir los costos energéticos y mejorar la eficacia del equipo.

Ilustración 15 Análisis de los circuitos



Fuente: <https://www.finilager.bo/servicios-de-ingenieria/analisis-dinamico-al-circuito-del-motor-electrico/>

Termografía: La termografía se basa en la detección de patrones de calor y radiación en las máquinas. Permite identificar problemas como desalineamientos, desequilibrios, lubricación deficiente y desgaste en piezas mecánicas. También es eficaz en la detección de sobrecalentamiento en equipos eléctricos.

Ilustración 16 Termografía



Fuente: <https://91le.com.ar/ventajas-de-la-termografia/>

Monitoreo por Ultrasonidos: El monitoreo por ultrasonidos utiliza ondas sonoras de alta frecuencia para detectar fugas y cavitaciones en equipos. Puede reducir la necesidad de inspecciones visuales al identificar problemas de manera temprana.

Ilustración 17 Monitoreo por ultrasonido



Fuente: <https://esp.reliabilityconnect.com/inspeccion-rutinaria-usando-ultrasonido-y-vibracion/>

Radiografía: La radiografía, incluida la radiografía de neutrones, es un método exhaustivo de ensayo no destructivo que permite a los técnicos inspeccionar defectos internos en materiales y equipos. Es especialmente útil para identificar problemas en piezas aglomeradas y fallas en la soldadura.

Ilustración 18 Radiografía



Fuente: <https://ndtesting.cl/ensayos/wp-content/uploads/2014/07/radiografiadig.jpg>

Interferometría Láser: Los interferómetros láser miden alteraciones para calcular desplazamientos en función de las longitudes de onda generadas por láser. Se utilizan para identificar defectos como corrosión y cavidades en la superficie o bajo ella.

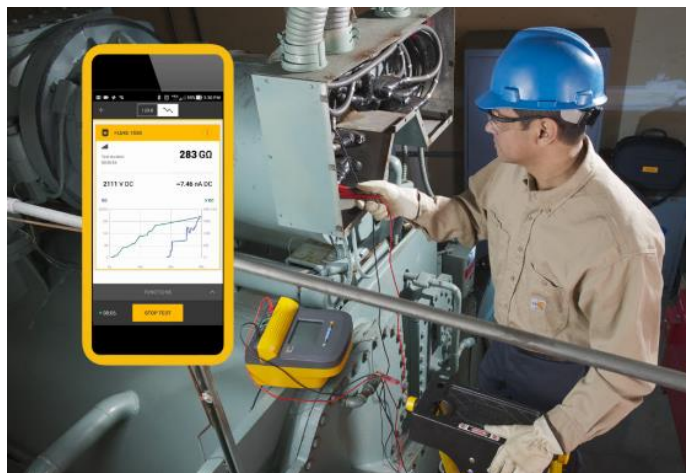
Ilustración 19 interferómetro láser



Fuente: <https://www.sdm-measuring.it/wp-content/uploads/2020/12/image011.jpg>

Monitoreo Eléctrico: Evalúa la resistencia, inducción, capacidad eléctrica, respuesta de pulso y otros factores relacionados con sistemas eléctricos para prevenir problemas eléctricos y mejorar la seguridad.

Ilustración 20 Monitoreo eléctrico



Fuente [http://www.tecsagro.com.mx/wp-](http://www.tecsagro.com.mx/wp-content/uploads/2019/05/previo_aspectos_basicos_de_las_pruebas_de_resistencia_de_aislamiento_electrico-1080x720.jpg)

[content/uploads/2019/05/previo_aspectos_basicos_de_las_pruebas_de_resistencia_de_aislamiento_electrico-1080x720.jpg](http://www.tecsagro.com.mx/wp-content/uploads/2019/05/previo_aspectos_basicos_de_las_pruebas_de_resistencia_de_aislamiento_electrico-1080x720.jpg)

Medición Electromagnética: Mide distorsiones de campo magnético para detectar grietas, abolladuras, corrosión y otros defectos en materiales conductores no ferrosos.

Ilustración 21 Medición electromagnética



Fuente: <https://twilight.mx/site/instrumentos/gaussímetros/19/452/lt-emf819-medidor-de-campos-electromagneticos.html>

3.4. Tecnología para buques inteligentes

El Internet de las Cosas (IoT) se refiere a la interconexión de dispositivos y sensores en nuestra vida cotidiana. Esto nos permite controlar dispositivos electrónicos a distancia, como encender las luces de casa o ajustar la temperatura del refrigerador desde una aplicación móvil.

Por otro lado, el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) se enfoca en conectar dispositivos y sistemas en entornos industriales, como la energía, la agricultura y la logística. El IIoT recopila, monitorea y analiza datos en tiempo real para mejorar la eficiencia, la productividad y la toma de decisiones. Esto permite la automatización de procesos industriales, el mantenimiento predictivo, una gestión eficiente de los activos y la optimización de la cadena de suministro.

Sin embargo, el IIoT también presenta desafíos en términos de seguridad y privacidad de los datos. La interconexión de dispositivos y sistemas industriales puede exponer vulnerabilidades a ataques cibernéticos. Por lo tanto, es crucial implementar medidas de seguridad sólidas para proteger los datos y la infraestructura industrial.

En el caso naval, la emisión de radio puede ser un obstáculo difícil de superar debido a la necesidad de discreción. Sin embargo, existen formas de transmitir a corta distancia que permitirían utilizar estos medios sin comprometer la seguridad o la discreción (Paessler AG, 2023)

Los sistemas IIoT (Internet Industrial de las Cosas) pueden ser cableados. De hecho, en muchos entornos industriales, los sistemas IIoT están cableados para garantizar una conexión estable y segura. La fibra óptica es una opción común para el cableado de sistemas IIoT debido a su alta velocidad de transmisión de datos y resistencia a las interferencias electromagnéticas.

Además, en los sistemas OT (tecnología operativa), los sistemas de control cableados cumplían las funciones de seguridad y protección, pero el IIoT está cambiando la forma en que se protegen los dispositivos OT, utilizando aplicaciones de seguridad basadas en la nube (Paessler AG, 2023)

La Industria 4.0 se refiere a la cuarta revolución industrial, caracterizada por la automatización y digitalización de los procesos industriales. Se centra en la interconexión de sistemas como la computación en la nube y el Internet de las Cosas (IoT), utilizando datos para mejorar la eficiencia y la toma de decisiones

Por otro lado, la Industria 5.0 es considerada la quinta revolución industrial. A diferencia de la Industria 4.0, que se enfoca en la automatización y digitalización, la Industria 5.0 combina las capacidades únicas de los humanos y las máquinas para lograr una producción más flexible y personalizada. Se centra en la colaboración entre humanos y máquinas en tareas que requieren creatividad, toma de decisiones complejas y habilidades emocionales (TELEFÓNICA, 2023)

3.5. La creciente importancia de la ciberseguridad en el mundo marítimo

La exposición de sistemas críticos y vulnerables, como el puente de mando, sistemas de carga, propulsión, vigilancia y control, a amenazas cibernéticas es una preocupación destacada. La interconexión y red entre estos sistemas pueden crear vulnerabilidades que deben ser mitigadas.

En este sentido, el spoofing del GPS (sistema de posicionamiento global) / AIS (Sistema de Identificación Automática) que implica falsificar señales de posicionamiento que los buques utilizan para comunicar su posición y otros datos de navegación. Los atacantes emiten señales de radio cerca del buque objetivo para interferir con las señales.

Los motivos detrás de estos ataques de spoofing no siempre están claros, y los responsables de los ataques no son fácilmente identificables. Pueden ser pruebas de sistemas de guerra electrónica avanzados o daños colaterales en situaciones de conflicto o crisis. La falta de conocimiento por parte de los capitanes y autoridades marítimas de que las señales de GPS y AIS pueden ser falsificadas agrava el problema.

3.6. Fases del proceso del mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo combina la recopilación de datos, el análisis de datos históricos, y el uso de Inteligencia Artificial y el Aprendizaje Automático para anticipar y prevenir fallas en los equipos industriales. Esto implica varias etapas clave:

Recolección de Datos: En el mantenimiento predictivo, se recopila de manera continua y sistemática la información más relevante sobre el estado y rendimiento de los activos. Esto se logra mediante el uso de tecnologías, sensores y dispositivos de

monitoreo que capturan datos como temperatura, vibración, presión, nivel y consumo de energía, según las necesidades de los equipos. El propósito es obtener una comprensión detallada de cómo operan los activos, lo que permite la detección temprana de patrones de comportamiento anómalos que podrían indicar futuras fallas.

Minería de Datos: La minería de datos en el mantenimiento predictivo se refiere al análisis de grandes conjuntos de datos históricos para identificar patrones, tendencias y relaciones relevantes. Se emplean algoritmos y técnicas estadísticas con el fin de extraer información valiosa de los datos acumulados a lo largo del tiempo. Esta práctica contribuye a entender el comportamiento de los activos industriales, identificar anomalías y tendencias que sugieran futuros problemas, y anticipar posibles fallas o declives en el rendimiento.

Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático (IA y Machine Learning): En esta fase, se aplican algoritmos para predecir el comportamiento de los activos. La Inteligencia Artificial se emplea para analizar datos históricos y en tiempo real, identificando patrones, tendencias y anomalías que puedan indicar problemas futuros. Además, se entrenan modelos de Machine Learning con datos históricos para reconocer patrones y tendencias asociados a diferentes estados de funcionamiento de los equipos, como condiciones normales o fallas inminentes. Estos modelos de Machine Learning permiten predecir cuándo ocurrirá una falla, lo que facilita la toma de medidas anticipadas y la planificación eficiente de las actividades de mantenimiento (Fracttal Tech S.L., 2023)

CAPITULO IV: Impacto de las técnicas en buques de la Armada Argentina

4.1. Implementación de un sistema predictivo

La confiabilidad y el mantenimiento efectivo de un sistema requieren el cumplimiento de pasos fundamentales. No seguir estas etapas puede llevar a fallas catastróficas.

En primer lugar, se debe llevar a cabo un estudio exhaustivo de la organización, comprendiendo sus necesidades, capacidades y estructura interna donde se implementará el sistema de mantenimiento. Esto sienta las bases para el éxito.

Es crucial establecer una organización técnico-administrativa sólida, definiendo una estructura que sea responsable de coordinar y supervisar al personal que trabajará en el sistema.

El análisis detallado de los equipos es un paso crítico. Se deben definir técnicas de diagnóstico y aplicarlas específicamente a cada equipo, teniendo en cuenta sus características individuales. Esto garantiza un mantenimiento adaptado a las necesidades de cada máquina.

La capacitación del personal es esencial. Es necesario determinar los perfiles profesionales requeridos y proporcionar la formación necesaria, enfocándose en la experiencia práctica.

Finalmente, la adquisición de equipos adecuados es crucial. Se deben obtener herramientas y equipamiento que sean compatibles tanto con las capacidades necesarias como con los sistemas informáticos existentes en la organización (OSORIO OLAVE, 2000)

En el contexto del mantenimiento predictivo en el ámbito marítimo, y tomando como base la clasificación presentada por Márquez y otros (2017, pág. 290) para la industria en general, se ha adaptado la siguiente categorización de los equipos según su importancia y el impacto de su falla en las operaciones del buque:

La **primera categoría** comprende los "Equipos Muy Críticos", que son esenciales para el funcionamiento del buque. La falla de estos elementos podría resultar en una parada prolongada de todo el buque. Incluso aquellos equipos que, aunque no causen una interrupción inmediata, requieren piezas de repuesto enviadas

desde tierra y pueden tener tiempos de entrega largos, se incluyen en esta categoría. Se consideran costosos o producen un gran inconveniente en el estado operativo del buque.

La **segunda categoría** abarca los "Equipos Críticos". Estos son equipos cuya falla afectaría al funcionamiento del buque en un 30%. Al igual que en la categoría anterior, si la llegada de piezas de repuesto se retrasa, se vuelve más crítica. También entran en esta categoría los equipos con un alto costo de mantenimiento y aquellos que requieren intervenciones frecuentes debido a su diseño o su uso. Ejemplos de elementos en esta categoría son bombas, equipos radioelectrónicos y equipos de navegación.

La **tercera categoría** comprende los "Equipos con Prioridad Normal". Aquí se incluyen equipos cuya falla no tendría un impacto significativo en las operaciones del buque, como bombas de sentinas o depuradoras. Además, los sistemas que cuentan con "unidades de reserva" se clasifican en esta categoría. También se consideran de prioridad normal aquellos equipos cuya reparación puede llevarse a cabo en una hora o menos, incluso si su costo es elevado, o aquellos que pueden ser mantenidos por una empresa externa al buque (MARQUEZ, 2017, pág. 290)

Para llevar a cabo una implementación exitosa del mantenimiento predictivo, se siguen cuatro pasos fundamentales:

Identificación de prioridades: En primer lugar, se seleccionan los activos más críticos para las operaciones y aquellos con altos costos de reparación como principales enfoques.

Recopilación de datos: Se recaba información sobre el historial de los activos y los posibles modos de falla. Estos datos servirán como base para desarrollar algoritmos y tomar decisiones fundamentadas.

Implementación de sensores: Se integran sensores para monitorear la condición de los activos. Este proceso puede ser más sencillo en equipos nuevos, pero también se puede llevar a cabo en máquinas más antiguas con la orientación adecuada del fabricante.

Pruebas y expansión: Se realizan pruebas en un conjunto inicial de máquinas para verificar la precisión de los sensores y algoritmos. Una vez que se logran los

objetivos y se puede programar el mantenimiento de manera efectiva, se amplía esta estrategia a otras máquinas.

El mantenimiento predictivo es una estrategia que ya ofrece beneficios a muchas empresas y se espera que sea aún más efectiva con el avance de la IoT y la transformación digital. La clave del éxito radica en la implementación de sistemas inteligentes e integrados, como las Plataformas Inteligentes de Mantenimiento (PIM) estas plataformas, como su nombre sugiere, fusionan la gestión del mantenimiento con la inteligencia artificial (IA) para recopilar y transformar los datos de los equipos en información de gran valor. Se denominan "plataformas" en lugar de "software de mantenimiento" debido a su capacidad para integrar diversas herramientas y, en algunos casos, incluso hardware. Esto las convierte en sistemas de mantenimiento dinámicos en constante evolución en lugar de soluciones estáticas y aisladas (Ávila da Costa, Martins, Millet, Santos Couto, Silva, & Matos, 2023)

El mantenimiento Predictivo no constituye una solución por sí solo y debe ser parte de una estrategia general de mantenimiento. Es importante destacar que su implementación conlleva riesgos en la predicción de fallas y en el diagnóstico. Todos los miembros de la organización deben estar al tanto de ello porque la pérdida de confianza en el sistema puede llevar al fracaso en su implementación. (OSORIO OLAVE, 2000)

4.2. Beneficios de implementar un Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo se ha convertido en una herramienta fundamental en la gestión de activos industriales. Los nuevos Software simplifican la implementación de técnicas de mantenimiento preventivo al proporcionar datos detallados y una visión completa de los flujos de trabajo. Los beneficios de esta estrategia son notables:

En primer lugar, reduce el tiempo de inactividad al emplear tecnologías avanzadas que anticipan problemas en los equipos, lo que permite programar el mantenimiento y evita detenciones no planificadas, mejorando la disponibilidad de los activos.

En segundo lugar, optimiza los costos de mantenimiento al realizar intervenciones en el momento adecuado, evitando gastos innecesarios en reparaciones y prolongando la vida útil de los equipos. Esto se traduce en ahorros significativos a largo plazo.

También mejora la seguridad en el lugar de trabajo al mantener los equipos en óptimas condiciones y prevenir posibles fallas, lo que a su vez aumenta la confiabilidad de los activos, mejorando la calidad de la producción y la satisfacción del cliente.

La eficiencia operativa se ve beneficiada, ya que los equipos de mantenimiento pueden planificar sus actividades de manera más efectiva al contar con datos en tiempo real sobre el rendimiento de los equipos, lo que se traduce en una distribución de recursos más eficiente y una gestión del tiempo mejorada.

Por último, el mantenimiento predictivo permite una gestión más precisa del inventario de repuestos, identificando las piezas que necesitan ser reemplazadas o reparadas en momentos específicos y evitando el almacenamiento innecesario, lo que reduce los costos asociados al inventario (Fractal Tech S.L., 2023)

4.3. Resultados

El mantenimiento predictivo proactivo desempeña un rol crucial en el contexto de la Industria 4.0, ya que proporciona la capacidad de anticipar posibles fallas en los equipos antes de que ocurran. Según datos de Deloitte, una de las denominadas "Cuatro Grandes" firmas de servicios profesionales de gestión de riesgos y consultoría en tecnología a nivel mundial, el mantenimiento predictivo tiene el potencial de reducir los costos de mantenimiento en un rango que oscila entre el 5% y el 10% con respecto a un mantenimiento principalmente basado en condición.

A pesar de su evidente valor, la implementación del mantenimiento predictivo en el contexto de la Industria 4.0 ha enfrentado diversos desafíos significativos que los ingenieros deben abordar para aprovechar al máximo esta tecnología.

El primer desafío radica en la necesidad de crear un entorno colaborativo en el que expertos en ingeniería y científicos de datos trabajen en conjunto. La colaboración entre estos dos grupos es fundamental para combinar la experiencia y el conocimiento técnico, garantizando así que se aprovechen plenamente los aspectos cruciales de cada aplicación efectiva.

El segundo desafío se relaciona con la dificultad de entrenar algoritmos de aprendizaje automático cuando no se dispone de suficientes datos sobre fallas reales. En muchas ocasiones, los equipos de ingeniería pueden proporcionar datos de "Buen funcionamiento" de los activos en su operación cotidiana, pero enseñar a la inteligencia

artificial a reconocer diversas situaciones de error es esencial. Para superar esta limitación, se recurre a modelos de simulación que generan datos de fallas artificiales, lo que facilita el entrenamiento de los algoritmos.

Una vez que los algoritmos han sido entrenados adecuadamente, el tercer desafío consiste en implementarlos en el entorno de la realidad. La facilidad o dificultad de esta tarea depende en gran medida de la infraestructura de tecnología de la información y tecnología operativa existente. Algunos algoritmos se ejecutan en tiempo real en hardware dedicado, como PC industriales o controladores integrados, mientras que otros se integran en la nube o en la infraestructura que no opera en tiempo real. Cadenas de herramientas especializadas facilitan la implementación eficiente en el mundo real.

El último y crucial desafío se relaciona con la creación de un sólido caso de negocio que respalde la implementación del mantenimiento predictivo. La alta dirección necesita pruebas basadas en datos que demuestren el valor y el retorno de inversión de esta tecnología. (Philipp H. F. Wallner, Industry Manager, Industria, 2020) En este sentido, la Instrucción del Departamento de Defensa de los EEUU N° 4151.22 que especifica sobre el Mantenimiento Basado en la Condición Plus para el Mantenimiento del Material, subraya la importancia de realizar un Business Case Analysis (BCA- Análisis de Caso de Negocio) como guía para tomar la decisión de aplicar el CBM+. Este análisis permite evaluar de manera objetiva los beneficios, costos y riesgos asociados con la implementación del mantenimiento predictivo, asegurando que los recursos sean asignados de manera eficiente y que la decisión de implementación esté respaldada por un sólido fundamento económico. (DEPARTAMENTO DE DEFENSA DE EEUU, 2020)

A pesar que la implementación del mantenimiento predictivo conlleva un alto costo inicial en comparación con el enfoque reactivo, “tiene un alto retorno de la inversión, que puede llegar a 10 veces más la inversión inicial. Un estudio realizado por el Departamento de Energía de Estados Unidos en 2010, cuando la instalación de sensores era aún más cara que ahora, apunta a una reducción del 25-30% en los costes de mantenimiento, un 35-45% menos de tiempo de inactividad y un 70-75% menos de averías” (Ávila da Costa, Martins, Millet, Santos Couto, Silva, & Matos, 2023)

4.4. Análisis

El mantenimiento predictivo es una inversión que se justifica en diversas situaciones: en organizaciones con altos costos operativos y una gran inversión de capital, en aquellas donde el tiempo de inactividad resulta en pérdidas significativas y en aquellas con activos cuyas fallas representan riesgos para la seguridad. Este enfoque no es sorprendente en sectores pioneros como la aviación, donde se utiliza para predecir y prevenir fallas en tiempo real, tanto en vuelo como en tierra, mejorando la seguridad y evitando retrasos y cancelaciones. (Ávila da Costa, Martins, Millet, Santos Couto, Silva, & Matos, 2023)

Numerosas técnicas de mantenimiento predictivo se aplican en la industria, dado que cualquier interrupción en la producción puede ocasionar pérdidas considerablemente altas. Además, se espera que este enfoque crezca en sectores como la gestión de flotas de transporte marítimo, la atención médica, la minería y la producción de energía en los próximos años. El mantenimiento predictivo se convierte así en una herramienta crucial para garantizar la eficiencia y la continuidad de las operaciones en diversas industrias (Ávila da Costa, Martins, Millet, Santos Couto, Silva, & Matos, 2023)

Un aspecto fundamental en la implementación del mantenimiento predictivo es la realización de análisis de confiabilidad, como el Análisis de Modo y Efecto de Fallas (FMEA). Este análisis permite identificar los modos de falla, que son las maneras en que un componente o sistema puede fallar, incluyendo el tipo de falla, su causa y las condiciones bajo las cuales podría ocurrir. Este paso es crucial para predecir con precisión cuándo y cómo podrían fallar los activos, lo que permite tomar medidas preventivas antes de que ocurra la falla, minimizando el impacto en la operación y optimizando el ciclo de vida de los equipos. (García Palencia, 2012) (Rabelo, 2008)

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) se integra estrechamente con estas estrategias, proporcionando un enfoque estructurado para determinar las necesidades de mantenimiento basadas en la confiabilidad inherente de los equipos y su contexto operativo. El RCM se apoya en técnicas como el FMEA para desarrollar planes de mantenimiento que reduzcan los riesgos de fallas críticas y mejoren la seguridad y la eficiencia operativa. (Manfredini, 2010) (Novoa Paradela, EIRAS, FONTELA, & Otros, 2020)

Cuando se adopta una estrategia de mantenimiento basada en condición (CBM) o CBM+, se incrementa aún más la eficiencia y efectividad del mantenimiento predictivo. El CBM se basa en el monitoreo continuo del estado de los equipos para evaluar si es probable que fallen en un futuro próximo, permitiendo la intervención antes de que se produzca un falla. (DEPARTAMENTO DE DEFENSA DE EEUU, 2020) El CBM+ va un paso más allá, integrando tecnologías avanzadas como sensores embebidos, análisis de datos y aprendizaje automático para mejorar la precisión en la predicción de fallas y optimizar la disponibilidad del sistema. (DEPARTAMENTO DE DEFENSA DE EEUU, 2020)

“La armada de Chile ha estado implementando un Sistema de Mantenimiento Predictivo o por Diagnóstico desde principios de esta década . . . ocasionando una disminución de los costos totales del sostenimiento de la flota” (OSORIO OLAVE, 2000) Esto demuestra cómo el mantenimiento predictivo, similar al CBM+ utilizado en las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos, puede ser una estrategia efectiva para mejorar la disponibilidad de los equipos y reducir los costos de sostenimiento.

No obstante, la transición de la situación actual a la implementación del mantenimiento predictivo, con la inserción tecnológica involucrada, no es una tarea sencilla. Es necesario establecer un proceso estructurado para evaluar la aplicabilidad y la relación costo-beneficio de un proyecto de esta magnitud. Para ello, resulta útil referenciar normas y guías de otras Fuerzas Armadas que han implementado estrategias similares, ya que el mantenimiento predictivo descrito es comparable al CBM+ que integra el análisis RCM, empleado por las FFAA de los EEUU. (DEPARTAMENTO DE DEFENSA DE EEUU, 2020)

Como vemos, uno de los aspectos más preocupantes es la exposición de sistemas críticos y susceptibles a amenazas cibernéticas, como el puente de mando, sistemas de carga, propulsión, vigilancia y control. La interconexión y la red entre estos sistemas pueden dar lugar a vulnerabilidades que requieren medidas de mitigación y protección (CASTRO PEREIRA, 2022)

El mantenimiento predictivo nació para prevenir las averías, pero siempre habrá fallas aleatorias, que son imposibles de predecir o prevenir. Además, el mantenimiento predictivo requiere una gran infraestructura. Por lo tanto, este mantenimiento sólo se recomienda para activos críticos con modos de falla predecibles. El término "modo de

falla" se refiere a la manera en que un componente o sistema puede fallar. Esto incluye el tipo de falla, su causa y las condiciones bajo las cuales podría ocurrir. En el contexto del mantenimiento predictivo, identificar y entender los modos de falla es crucial porque permite predecir con mayor precisión cuándo y cómo podría fallar un activo. De esta forma, se pueden tomar medidas preventivas antes de que ocurra el falla, minimizando el impacto en la operación y optimizando el ciclo de vida de los equipos (Ávila da Costa, Martins, Millet, Santos Couto, Silva, & Matos, 2023)

CONCLUSIONES

A lo largo de las décadas, el gasto militar en Argentina ha experimentado variaciones significativas, influido por eventos económicos y políticos. Ejemplos notables de estos eventos incluyen la crisis financiera de 2001-2002, que dejó una huella evidente en el presupuesto militar con una marcada disminución en 2002, y la transición democrática a fines de la década de 1980. Estos acontecimientos históricos no solo reflejan patrones económicos, sino que también ilustran cómo la política y la economía han impactado en las prioridades nacionales de defensa a lo largo del tiempo.

La distribución de fondos, particularmente hacia gastos corrientes como sueldos del personal, genera preocupaciones respecto a la insuficiencia de inversiones en equipamiento y modernización cruciales para fortalecer la capacidad operativa.

La carencia de inversiones específicas en el mantenimiento naval y la modernización de las unidades navales plantean desafíos significativos para la Armada, comprometiendo su capacidad operativa a largo plazo.

La experiencia de Chile en los años noventa, con la exitosa implementación del Mantenimiento Predictivo, y los logros obtenidos por la Armada Argentina en los años ochenta al adoptar estrategias similares, subrayan la eficacia de estas prácticas. Además, los proyectos piloto de mantenimiento predictivo en la Marina de los Estados Unidos proporcionan evidencia tangible del potencial de esta estrategia para no solo optimizar los recursos financieros, sino también mejorar la eficiencia operativa de manera significativa.

En este contexto, considerar la implementación de tecnologías emergentes, como la realidad aumentada y el Internet de las cosas (IoT), emerge como un factor clave para abordar los desafíos contemporáneos en el mantenimiento naval. Estas innovaciones no solo ofrecen soluciones avanzadas, sino que también representan una vanguardia tecnológica que puede potenciar la eficiencia de las operaciones de mantenimiento, proporcionando herramientas innovadoras para hacer frente a las complejidades y limitaciones actuales. La adopción de estas tecnologías podría marcar la diferencia en la capacidad de la Armada para mantenerse en un estado operativo óptimo en un entorno naval en constante cambio.

La situación en Ucrania pone de manifiesto la vertiginosa evolución de la tecnología, especialmente en lo que respecta a vehículos no tripulados, equiparando incluso a adversarios inicialmente desiguales. Si consideramos que la tecnología ejerce un papel de amplificador y que la obtención de componentes básicos se ha vuelto relativamente accesible, es imperativo invertir en la modernización del mantenimiento. En este contexto, resulta fundamental que todos los sectores de la marina, incluyendo las áreas más especializadas, se mantengan al corriente de estas innovaciones. La incorporación de nuevas tecnologías en el seguimiento y control de los equipos a bordo podría disminuir las incidencias y fallas gracias a un análisis continuo de los datos recopilados. La introducción de un asistente electrónico agilizaría este proceso, economizando tiempo y permitiéndonos enfocarnos en optimizar el rendimiento de los equipos.

Asimismo, mejorar la eficiencia operativa no solo conllevaría un uso más efectivo de los recursos, sino que también generaría un impacto significativo en la reducción de emisiones contaminantes. Una maquinaria eficiente consume menos combustible, lo que a su vez disminuye la huella de carbono que emite, promoviendo su sostenibilidad.

La incorporación de la IA en el análisis de fallas podría conducir a una operación más eficiente y sostenible, permitiendo que los equipos funcionen durante intervalos más prolongados antes de requerir mantenimiento. Esta modernización del sistema de monitoreo de equipos más antiguos no solo garantiza una mayor confiabilidad en la navegación, sino que también otorga tiempo adicional para la adquisición de nuevas unidades en reemplazo de las más veteranas.

Estos sistemas suplantarían a los sistemas originales de monitoreo y alarmas, fortaleciendo la seguridad y disminuyendo el riesgo mediante una mayor cobertura y capacidad de vigilancia.

La eficiencia en el gasto debido al aumento de la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo puede contribuir a un uso más efectivo de los recursos disponibles en las Fuerzas Armadas. Esto ayudaría a alcanzar los objetivos de la DPDN 2021 de mantener o modernizar los medios bélicos.

Es relevante destacar que el avance en el procesamiento de datos y sistemas de control podría potenciar la industria de automatización Argentina, abriendo así nuevas

perspectivas en el ámbito militar en franco lineamiento con la concepción de la Defensa Nacional.

Actualmente, para el análisis de riesgos y evaluación operativa de las unidades navales se utiliza un sistema de carga manual, cuyo operador final es un ser humano que tiene una visión subjetiva de los hechos observados. La implementación de sistemas de monitoreo proactivos no solo proporcionaría una visión imparcial, sino que los datos recopilados serían automáticos y más precisos.

El sistema de mantenimiento requeriría un esfuerzo en educación del personal que, una vez obtenida la capacitación, debería implementarse un riguroso sistema de reemplazos donde la prioridad la tendría la unidad naval y no la carrera del operador. Esto podría modificar los perfiles de carrera del personal especializado.

El desafío presupuestario es crucial para implementar mejoras en el mantenimiento naval. Aunque la confiabilidad de los equipos es esencial en conflictos armados, mantener esta fiabilidad en tiempos de paz resulta costoso. Los recortes presupuestarios y las restricciones en la adquisición de repuestos han complicado este objetivo.

La falta de mantenimiento adecuado es tan perjudicial como la falta de adiestramiento. La escasez de recursos y la obsolescencia de equipos obligan a tomar decisiones difíciles sobre qué mantenimiento y repuestos priorizar, basados en fondos disponibles en lugar de evaluaciones técnicas precisas. Descontinuar el mantenimiento puede llevar a fallas costosas y a la pérdida de capacidades operativas, dejando a la flota incapaz de cumplir con alguna de sus capacidades.

Ajustar las futuras adquisiciones a un presupuesto no adecuado puede ser un error fatal. La geografía de nuestro país exige unidades navales capaces de disuadir a posibles adversarios y capaces de operar eficazmente en un mar extenso, por ello es vital equilibrar la vida útil de las unidades antiguas, la adquisición de nuevas unidades y la financiación del mantenimiento. La búsqueda de formas innovadoras de gestionar recursos y adoptar nuevas tecnologías se tornan de suma importancia para mejorar la eficiencia y efectividad del mantenimiento naval, asegurando la operatividad y prolongando la vida útil de las unidades.

La hipótesis de este estudio postula que la implementación progresiva de técnicas de mantenimiento predictivo en las unidades navales de la Armada Argentina con más

de veinticinco años de servicio podría disminuir la probabilidad de fallas en equipos, contribuyendo a mejorar la efectividad en las operaciones militares. Este enfoque, al reducir el riesgo operacional a nivel de análisis operacional, permitiría enfrentar los desafíos presupuestarios y superar la obsolescencia técnica que actualmente afecta operativamente a la marina.

.Los resultados obtenidos confirman la hipótesis inicial propuesta y abren la puerta a futuras investigaciones e interrogantes importantes para considerar. Una pregunta clave que surge a partir de este trabajo es: ¿Cómo podrían las estrategias de mantenimiento predictivo ser adaptadas y optimizadas de manera integral en todas las Fuerzas Armadas de Argentina, incluyendo el Ejército, la Armada y la Fuerza Aérea, para mejorar la confiabilidad operacional, superar limitaciones presupuestarias y mitigar los efectos de la obsolescencia técnica en un contexto de servicio prolongado de los equipos militares?

BIBLIOGRAFÍA

- Fractal Tech S.L. (2023). <https://www.fractal.com>. Recuperado el 30 de 9 de 2023, de <https://www.fractal.com/es/que-es-el-mantenimiento-predictivo>
- AKZOTEC. (2023). <https://myemail.constantcontact.com/>. Recuperado el 7 de 05 de 2023, de <https://myemail.constantcontact.com/Mantenimiento-Correctivo--Preventivo--Predictivo-y-Proactivo.html?soid=1101877269721&aid=kXR4kr4BAF8>
- ARAUJO, R. (2014). *ingenieriamantenimiento.org*. Recuperado el 12 de 4 de 2023, de <http://www.ingenieriamantenimiento.org/mantenimiento-correctivo-planificado/>
- ARMADA ARGENTINA. (1980). *PUBLICACIÓN R.G. 7-001 NORMAS DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO PLANIFICADO*. BUENOS AIRES: ARA.
- Armada Argentina. (s.f.). *RG 7-001 NORMAS DEL MANTENIMIENTO PLANIFICADO*.
- Ávila da Costa, F., Martins, L., Millet, O., Santos Couto, R., Silva, D., & Matos, S. (2023). *infraspeak.com/*. Recuperado el 25 de 09 de 2023, de <https://blog.infraspeak.com/es/mantenimiento-predictivo/>
- BARDERI, G. (6 de 5 de 1987). *MANUAL DE LOGÍSTICA DE LAS FUERZAS NAVALES*. CABA, ARGENTINA: ESCUELA DE GUERRA NAVAL.
- BSI GROUP. (20 de junio de 2023). *www.bsigroup.com*. Recuperado el 20 de junio de 2023, de <https://www.bsigroup.com/es-ES/iso-55001-Gestion-de-activos/>
- CASTRO PEREIRA, A. (2022). LA GESTIÓN DE LOS RIESGOS. *REVISTA GENERAL NAVAL DE ESPAÑA*, 251 AL265.
- Defensa.com. (s.f.). *www.defensa.com*. Recuperado el 12 de 12 de 2023, de <https://www.defensa.com/especial-modernizacion-defensa-argentina/necesidades-presupuestos-armada-argentina>
- DELGADO YANES, J. (1 de 7 de 2019). *riull.ull.es*. Recuperado el 7 de 8 de 2024, de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/20414/%22Mantenimiento%20Predictivo%20en%20el%20Mundo%20Maritimo%22.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- DEPARTAMENTO DE DEFENSA DE EEUU. (14 de 8 de 2020). */www.esd.whs.mil*. Recuperado el 19 de 8 de 2024, de <https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issuances/dodi/415122p.pdf?ver=2020-08-14-152511-117>
- DEPARTAMENTO DE LA MARINA DE EEUU. (6 de 3 de 2019). *www.navsea.navy.mil*. Recuperado el 20 de 8 de 2024, de <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/NAVINST/04790-26A.pdf?ver=1XUO6Ljtz-9xx-r-0X1g5Q%3D%3D>

DEPARTAMENTO DE LA MARINA DE EEUU. (17 de 6 de 2020). *marines.mil*. Recuperado el 17 de 8 de 2024, de <https://www.marines.mil/Portals/1/Publications/MCO%204151.22.pdf>

DEPARTAMENTO DE LA MARINA DE EEUU. (10 de 6 de 2023). *www.navsea.navy.mil*. Recuperado el 16 de 8 de 2024, de <https://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/NAVINST/04790.030.pdf?ver=fMCOkrJ7pezYIm-X8ghYfw%3d%3d>.

Díaz Povedano & Díaz Serrano. (2023). <https://predictiva21.com>. Recuperado el 19 de 8 de 2023, de <https://predictiva21.com/terotecnologia-mantenimiento-clase-mundial-ii-parte/>

Durán, J. B. (20 de junio de 2023). <http://www.mantenimientomundial.com/>. Recuperado el 20 de junio de 2023, de <http://www.mantenimientomundial.com/notas/PAS55.pdf>

GAO Government Accountability Office EEUU. (1 de 12 de 2022). *www.gao.gov*. Recuperado el 18 de 8 de 2024, de <https://www.gao.gov/assets/820/813891.pdf>

García Palencia, O. (2012). Mantenimiento Industrial, Principios fundamentales. En O. García Palencia, *Mantenimiento Industrial, Principios fundamentales* (pág. 15). Bogotá: Ediciones de la U.

iberdrola.com. (s.f.). *Mantenimiento predictivo: la técnica basada en datos clave para anticipar errores*. Recuperado el 23 de 7 de 2023, de <https://www.iberdrola.com/innovacion/mantenimiento-predictivo>

ISO, N. 5. (21 de JUNIO de 2023). *ISO.ORG*. Recuperado el 21 de JUNIO de 2023, de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:55000:ed-1:v2:es>

Lifedere.com. (2023). *Lifeder.com*. Recuperado el 1 de 07 de 2023, de https://www.lifeder.com/wp-content/uploads/2020/01/earth-3866609_640-1.jpg

Manfredini, E. (2010). *Mantenimiento Predictivo. Manual basado en el análisis vibratorio*. -.

MARQUEZ, J. (2017). *Teoría del mantenimiento predictivo*. Grupo Editorial Patria.

MORENO CAYUELA, S. (1 de 12 de 2016). *IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO*. Recuperado el 8 de 8 de 2024, de <https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/8cdd7374-13c0-4656-a110-46646153e80d/content>

Novoa Paradela, D., EIRAS, F., FONTELA, R., & Otros. (2020). Mantenimiento de motores en buques mediante aprendizaje automático. *VIII Congreso Nacional de I+ D en Defensa y Seguridad*.

OPNAV, D. D. (8 de 5 de 2019). [/www.secnav.navy.mil](https://www.secnav.navy.mil). Recuperado el 17 de 8 de 2024, de <https://www.secnav.navy.mil/doni/Directives/04000%20Logistical%20Support%20and%20Services/04-700%20General%20Maintenance%20and%20Construction%20Support/4700.7M.pdf>

OSORIO OLAVE, D. (2000). Implementación de un sistema de mantenimiento por diagnóstico abordado de unidades navales y marítimas. *Revista de la Marina n°2/2000*, 165.

- Paessler AG. (2023). *www.paessler.com*. Recuperado el 21 de 8 de 2023, de <https://www.paessler.com/es/it-explained/iiot>
- Philipp H. F. Wallner, Industry Manager, Industria. (2020). *The role of predictive maintenance in Industry 4.0*. Recuperado el 23 de 7 de 2023, de <https://www.pesmedia.com/the-role-of-predictive-maintenance-in-industry-4-0/>
- PUBLICACIÓN ARA R.G. 7-001. (1 de 1 de 1980). NORMAS DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO PLANIFICADO. ARGENTINA: ARMADA ARGENTINA.
- PUBLICACIÓN ARA R.G. 1-007. (1 de 1 de 2014). REGLAMENTO ORGÁNICO DE LA ARMADA ARGENTINA ROA. ARGENTINA: ARMADA ARGENTINA.
- PUBLICACIÓN R.G. 1-154. (1 de 1 de 2019). REGLAMENTO ORGÁNICO DE LOGÍSTICA. ARGENTINA: ARMADA ARGENTINA.
- Rabelo, E. (2008). *Ingeniería de Mantenimiento. Formación en Mantenimiento para le ingeniero mecánico*. Nueva librería.
- TAVARES, L. (2023). *predictiva21.com*. Recuperado el 1 de 10 de 2023, de <https://predictiva21.com/7-9-mantenimiento-iso-9000/>
- TELEFÓNICA. (2023). <https://www.telefonica.com/>. Recuperado el 12 de 10 de 2023, de <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/industria-5-diferencias-industria-4/>
- United States Government Accountability Office. (2022). *Actions Needed to Further Implement Predictive Maintenance on Weapon Systems*. United States Government Accountability Office.
- VILLA CARRO, R. (28 de febrero de 2017). El mantenimiento predictivo en los buques. *COPE de Galicia*, pág. 11.
- VILLA CARO, R. (28 de febrero de 2017). <https://exponav.org>. Recuperado el 10 de octubre de 2023, de <https://exponav.org/blog/puertos-y-buques/el-mantenimiento-predictivo-en-los-buques/>
- Zona-militar.com. (s.f.). <https://www.zona-militar.com>. Recuperado el 12 de 12 de 2023, de <https://www.zona-militar.com/2022/09/22/presupuesto-2023-para-la-defensa-nacional-el-gasto-y-las-actividades-operacionales-para-la-jurisdiccion/>

GLOSARIO

Aprendizaje Automático (IA y Machine Learning): El aprendizaje automático (machine learning en inglés) es una rama de la inteligencia artificial que se enfoca en el desarrollo de algoritmos y modelos que permiten a las computadoras aprender y tomar decisiones basadas en datos.

Cálculo del tiempo medio entre fallas (MTBF) para programar la actividad: El tiempo medio entre fallas (MTBF) es una métrica que se utiliza para estimar el tiempo promedio que transcurre entre fallas o averías en un sistema o equipo. Se utiliza en la planificación del mantenimiento y la programación de actividades.

Causa raíz: La causa raíz se refiere a la causa fundamental o principal de un problema o un defecto en un sistema. Identificar la causa raíz es fundamental para abordar y solucionar problemas de manera efectiva.

CBM. mantenimiento basado en la condición: Una práctica de mantenimiento que se basa en la monitorización del estado de los equipos para evaluar si fallarán durante un período futuro determinado, con el fin de tomar las acciones apropiadas para evitar las consecuencias de esa falla. El mantenimiento basado en la condición emplea evaluaciones en tiempo real o aproximadamente en tiempo real de los datos obtenidos del equipo o de pruebas y mediciones externas utilizando equipos de prueba o inspecciones reales. El objetivo del mantenimiento basado en la condición es realizar el mantenimiento basado en la evidencia de necesidad, asegurando al mismo tiempo la seguridad, la fiabilidad, la disponibilidad y la reducción del costo del ciclo de vida.

CBM+ condition-based maintenance plus: En su núcleo, CBM+ realiza mantenimiento basado en la evidencia de necesidad. Esa "evidencia" se proporciona mediante la recopilación y agregación de datos precisos y su análisis. Estos datos incluyen datos de gestión de ítems a lo largo del ciclo de vida, así como datos ambientales y datos de sensores incrustados. Los datos CBM+ se capturan del equipo mediante una variedad de métodos, que pueden incluir inspecciones físicas, captura de datos de eventos de mantenimiento y suministro registrados, así como la recopilación de datos en tiempo real de sensores instalados en equipos militares.

Ecosistemas versátiles: Conjunto interrelacionado de elementos (en este caso, tecnología, procesos, personas, etc.) que funcionan juntos de manera integrada, similar a cómo un ecosistema natural está compuesto de diferentes organismos y su entorno.

Industria 4.0: La Industria 4.0 se refiere a la cuarta revolución industrial, que involucra la digitalización y la automatización de procesos industriales mediante tecnologías como el Internet de las Cosas, la inteligencia artificial y la robótica.

Industria 5.0: La Industria 5.0 es una extensión de la Industria 4.0 y promueve la cooperación entre humanos y sistemas ciberfísicos avanzados para lograr una mayor eficiencia y flexibilidad en la producción industrial.

Inteligencia Artificial (IA): La inteligencia artificial es una disciplina de la informática que se centra en la creación de sistemas y programas capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, el razonamiento y la toma de decisiones.

Internet de las Cosas (IoT): El Internet de las Cosas es una red de dispositivos físicos, vehículos, edificios y otros objetos que están incorporados con sensores, software y conectividad para intercambiar datos y lograr una mayor automatización y control.

IloT (Industrial Internet of Things): El Internet Industrial de las Cosas (IloT) es una extensión del Internet de las Cosas (IoT) que se aplica específicamente a entornos industriales. Involucra la conexión de dispositivos, máquinas y sistemas en entornos de fabricación y producción para recopilar datos, monitorear y controlar procesos, y optimizar la eficiencia y la productividad en la industria. El IloT utiliza sensores, redes y tecnologías de la información para habilitar la automatización y la toma de decisiones basada en datos en las operaciones industriales.

IUID ítem unique identification IUID (Identificación Única de Ítems): La aplicación y el uso de un identificador único de ítems como clave de datos común global en sistemas de información automatizados de finanzas, contabilidad de propiedad, adquisición y logística (incluyendo suministro y mantenimiento) para habilitar la responsabilidad de activos, la valoración, la gestión del ciclo de vida y la reducción del riesgo de materiales falsificados.

Mantenimiento predictivo: Una técnica para predecir el punto futuro de falla de un componente, de modo que la sustitución del componente pueda planificarse en el momento óptimo antes de que falle. El mantenimiento predictivo se diferencia del

preventivo en que utiliza datos recopilados para determinar la condición del componente y pronosticar la necesidad de mantenimiento.

Mantenimiento preventivo: Una técnica donde las acciones de mantenimiento y la sustitución de componentes se basan en tiempo de calendario, tiempo de operación u otra medida periódica. Los intervalos se determinan en función de análisis de fiabilidad y mantenibilidad de ingeniería, mantenimiento centrado en la fiabilidad y datos históricos de fallas.

Norma ISO 55000: La norma ISO 55000 se refiere a una serie de normas internacionales relacionadas con la gestión de activos físicos y proporciona pautas y mejores prácticas para la gestión de activos en diversas organizaciones.

Plataformas Inteligentes de Mantenimiento (PIM): Las Plataformas Inteligentes de Mantenimiento se refieren a sistemas o software que utilizan tecnologías avanzadas, como el aprendizaje automático y el análisis de datos, para mejorar la gestión y el mantenimiento de activos y equipos.

RCM (Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad): Un proceso estructurado y lógico para determinar los requisitos de mantenimiento basado en el análisis de las fallas funcionales probables de componentes, equipos, subsistemas o sistemas que tienen un impacto significativo en la seguridad, las operaciones y el costo del ciclo de vida. El RCM respalda la estrategia de gestión de fallas para cualquier componente, equipo, subsistema o sistema en función de su fiabilidad inherente y contexto operativo.

SIM serialized item management SIM (Gestión de Ítems del Ciclo de Vida): Programas y técnicas que utilizan datos de gestión de ítems del ciclo de vida para rastrear el rendimiento de ítems identificados de manera única a lo largo de su ciclo de vida. Los objetivos generales de estos programas y técnicas son permitir a los gerentes lograr la disponibilidad óptima de material del sistema de armas al mejor costo total de propiedad mediante prácticas efectivas y eficientes de gestión del ciclo de vida.

Sistemas OT (Tecnología Operativa): Los sistemas OT (Operational Technology en inglés) se refieren a tecnologías y sistemas utilizados en operaciones industriales y procesos de producción, como sistemas de control y monitoreo de procesos.

Sistemas IT (Tecnología de la Información): Los sistemas IT (Information Technology en inglés) se refieren a tecnologías y sistemas utilizados en el procesamiento, almacenamiento y transmisión de información y datos.

Spoofing del GPS: El spoofing del GPS es una técnica que involucra la emisión de señales falsas para engañar o confundir receptores GPS y puede ser utilizado con fines maliciosos.

Terotecnología: Implica el seguimiento y la gestión de los activos principales de la organización desde su construcción hasta su desmantelamiento..