Universidad Nacional de Rosario

CENTRO DE ESTUDIOS INTERDISCIPLINARIOS

GTEC

Especialización en gestión de la innovación y la vinculación tecnológica.

ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN Y LA VINCULACIÓN TECNOLÓGICA

TEMA

INNOVACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO DEL ARSENAL NAVAL MAR DEL PLATA

PAUTAS PARA IMPLEMENTAR UN MANTENIMIENTO EFICIENTE Y UNA EFECTIVA TRANSMISIÓN DEL CONOCIMIENTO ADQUIRIDO



Alumno: Ing. Martín Alberto Nazarre
Director: Ing. Tomás Javier Carrozza
Fecha de entrega: Junio de 2025

RESUMEN

El presente escrito, considerado como una intervención profesional, aborda temas relacionados a la optimización del mantenimiento, tomando como base la experiencia laboral y observación realizada en el Arsenal Naval Mar del Plata (ARMP), donde se nota una eficiencia limitada del sistema de mantenimiento, posiblemente generada por la escasa capacitación, la resistencia cultural y la pérdida de conocimiento tácito. Aunque el foco principal está en este destino, los conceptos y propuestas evidencian un marco integral aplicable a todos los sectores de las Fuerzas Armadas vinculados a tareas de mantenimiento. Mediante una revisión bibliográfica y un análisis basado en la experiencia profesional se examinan conceptos fundamentales de mantenimiento y gestión, análisis de fallas y problemas, transmisión del conocimiento y métodos prácticos para la aplicación eficiente en la operatividad naval. La implementación de estas estrategias optimizará el uso de recursos, aumentará la disponibilidad operativa de los activos, reducirá daños severos de equipos y maquinaria, mejora el seguimiento de las obras en ejecución y fomentará el bienestar de los operarios, entre otros beneficios, generando un impacto positivo en la operatividad naval.



Contenido

RESUMEN 2

PLANTEO DEL PROBLEMA 6

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS 7

OBJETIVOS DEL TIF 8

OBJETIVO PRINCIPAL 8

OBJETIVOS ESPECÍFICOS 9

INTRODUCCIÓN 10

CAPÍTULO 1. MARCO INSTITUCIONAL Y ESTRUCTURAL DE LA ARMADA ARGENTINA EN RELACIÓN CON EL ARSENAL NAVAL MAR DEL PLATA 11

1.1. POSICIÓN GEOPOLÍTICA ARGENTINA, FUERZAS ARMADAS Y SOCIEDAD 11

1.1.1. LAS FUERZAS ARMADAS ARGENTINAS (FF.AA) 13

1.1.2. LA ARMADA DE LA REPÚBLICA ARGENTINA (ARA): Estructura y Despliegue 14

1.1.3. BASE NAVAL MAR DEL PLATA (BNMP) 17

1.1.4. ARSENAL NAVAL MAR DEL PLATA (ARMP) 18

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS Y ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO 21

2.1. MARCO CONCEPTUAL DEL MANTENIMIENTO 21

2.1.1. ¿QUÉ ES EL MANTENIMIENTO? DEFINICIÓN Y ALCANCE 21

2.1.2. EL VÍNCULO ENTRE EL MANTENIMIENTO Y LA EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA 24

2.1.3. LA IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO: FINALIDAD Y OBJETIVOS 28

2.1.4. VARIABLES DEL MANTENIMIENTO 32

2.2. GESTIÓN Y POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO 34

2.2.1. MANTENIMIENTO vs. GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO: Roles e Interrelación 34

2.3. POLÍTICAS Y TIPOS DE MANTENIMIENTO 37

2.3.1. POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO vs. TIPOS DE MANTENIMIENTO 38

2.4. ESTRATEGIAS Y TIPOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO: FUNDAMENTOS PARA LA OPTIMIZACIÓN 40

2.4.1. NO MANTENIMIENTO 41

2.4.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO (MC) 43

2.4.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO 45

2.4.5. MANTENIMIENTO PROACTIVO 51

2.4.6. MANTENIMIENTO MODIFICATIVO 53

2.4.7. MOMENTO DE INTERVENCIÓN SEGÚN EL TIPO DE MANTENIMIENTO 54

2.4.8. IMPLEMENTAR vs. NO IMPLEMENTAR ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO 54

2.4.9. RESUMEN COMPARATIVO DE LOS TIPOS DE MANTENIMIENTO 55
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE FALLAS Y ESTRATEGIAS PARA LA OPTIMIZACIÓN OPERACIONAL 57
3.1. MARCO TEÓRICO DEL ANÁLISIS DE FALLAS 57
3.1.1. DEFINICIÓN Y ALCANCE DE LAS FALLAS 58
3.1.2. LA IMPORTANCIA DE ANALIZAR LAS FALLAS 59
3.1.3. CLASIFICACIÓN DE LAS FALLAS 59
3.2. HERRAMIENTAS Y MÉTODOS DE ANÁLISIS DE FALLAS 62
3.2.1. HERRAMIENTAS DE RECOPILACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE DATOS 62
3.2.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS POR PRIORIDAD DE REPARACIÓN 64
3.3. RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS MÉTODOS PRESENTADOS 85
CAPÍTULO 4. ESTRATEGIAS Y FILOSOFÍAS PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO 87
4.1. MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) 87
4.1.1. ORIGEN DEL TPM 88
4.1.2. OBJETIVOS DEL TPM 88
4.1.3. CARACTERÍSTICAS DEL TPM 88
4.1.4. LOS 8 PILARES DEL TPM 89
4.1.5. LAS "5S" DENTRO DEL TPM (Fundamentos Para la Excelencia Operacional) 90
4.1.6. RELACIÓN ENTRE EL TPM Y LOS TIPOS DE MANTENIMIENTO 92
4.1.7. MÉTODO DE IMPLEMENTACIÓN DEL TPM (Modelo de 12 Pasos) 94
4.1.8. CONSIDERACIONES GENERALES DEL TPM 97
4.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC) 97
4.2.1. OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD 98
4.2.2. FUNCIONAMIENTO DEL ANÁLISIS EN EL MCC 99
4.2.3. PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DEL MCC 101
CAPÍTULO 5. FUNDAMENTOS DE LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO PARA LA EXCELENCIA EN EL MANTENIMIENTO DEL ARMP 103
5.1. LA CREACIÓN Y GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO ORGANIZACIONAL 103
5.2. EL DESAFÍO DE LA CULTURA ORGANIZACIONAL Y EL ROL DEL LIDERAZGO 104
5.3. DIFERENCIANDO INFORMACIÓN Y CONOCIMIENTO: el Valor del Contexto y la Acción 104
5.3.1. LOS DOS ROSTROS DEL CONOCIMIENTO: TÁCITO Y EXPLÍCITO 104
5.3.2. LA ESPIRAL DEL CONOCIMIENTO. MODELO SECI 105
5.4. BARRERAS EN LA CREACIÓN DEL CONOCIMIENTO ORGANIZACIONAL 107
5.5. PREPARANDO EL TERRENO: CONFIANZA, COLABORACIÓN Y MICROCOMUNIDADES 108
5.6. CONDICIONES QUE FACILITAN LA CREACIÓN DE CONOCIMIENTO 110

5.7. DIMENSIONES Y METODOLOGÍAS CLAVE PARA LA PRÁCTICA DE LA GC 111
5.8. ROLES CLAVE: LOS ACTIVISTAS DEL CONOCIMIENTO 112
5.9. LA IMPORTANCIA DE LAS INTERACCIONES EFECTIVAS 113
5.10. CAUSAS Y EFECTOS DEL FRACASO DE LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO 113
5.10.1. FACTORES DE FALLA EN LA GESTION DEL CONOCIMIENTO 114
5.10.2. EFECTOS DEL FRACASO EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO 114
5.11. IMPLEMENTACIÓN DE LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO 115
CAPÍTULO 6. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN EL ARMP 118
CONLUSIÓN INTEGRADORA 125
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CONSULTADAS 127
ANEXO A. *Ejemplos de Aplicación de Métodos de Análisis de Fallas y MCC*..... 128

PLANTEO DEL PROBLEMA

El Arsenal Naval Mar del Plata (ARMP) presenta un sistema de mantenimiento que, a pesar de su vital importancia para la operatividad de la Armada Argentina, exhibe una eficiencia limitada debido principalmente a la escasa capacitación en gestión del mantenimiento, tanto a nivel operativo como jerárquico. Esta falta de formación especializada genera múltiples dificultades, entre las que se pueden nombrar: pérdida de tiempo en la ejecución de tareas, uso inadecuado de insumos y recursos, falta de capacidad para realizar análisis profundos de fallas en los diversos sistemas y equipos, entre otras. Esto impacta no solo en la disponibilidad de las unidades, comprometiendo directamente la capacidad de la Armada para cumplir con sus objetivos de defensa y soberanía nacional, sino también en el bienestar y motivación de los operarios, quienes se enfrentan a procesos obsoletos y poco sistematizados.

En numerosos sectores del ARMP se observa una resistencia al cambio manifiesta en la prevalencia de la filosofía de "lo hacemos de esta manera porque siempre se hizo así". Esta actitud limita la adopción de modelos de mantenimientos reconocidos por su eficiencia, esenciales para adaptarse a los requerimientos estratégicos y tecnológicos actuales. Sumado a esto, existe una preocupante pérdida de capacidades y conocimientos específicos acumulados a lo largo de años de experiencia práctica. La ausencia de una gestión formal del conocimiento provoca que la información valiosa transmitida por operarios veteranos se pierda al momento de su jubilación o cambio de trabajo, imposibilitando la continuidad y mejora progresiva del sistema.

Frente a este escenario, surge la pregunta central de este trabajo:
¿Es posible transformar la cultura laboral actual y establecer un sistema de mantenimiento más eficiente en el ARMP? La respuesta afirmativa a este desafío requiere abordar tres pilares fundamentales (Figura 1):

- **Capacitación y Educación**
- **Innovación Tecnológica**
- **Gestión del Conocimiento**

CAPACITACIÓN Y EDUCACIÓN	INNOVACIÓN TECNOLÓGICA	GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO
Es imprescindible que todo el personal comprenda la importancia y alcance de la gestión correcta del mantenimiento. No se puede pretender que un jefe o encargado de cierta área aplique métodos eficientes de mantenimiento si desconoce la importancia de los mismos. La formación continua y específica es la base para la aplicación efectiva de métodos que incrementen la eficiencia y reduzcan las fallas.	La incorporación de equipos para diagnóstico y monitoreo (espectrómetro, alineadores, termógrafo, medidor de vibraciones, sensores, de ensayos no destructivos, etc.) es necesaria para mejorar la calidad y precisión de las tareas de mantenimiento. Además, la implementación de un sistema informático que centralice, organice y facilite el acceso a la información operativa contribuirá a una mejor planificación, seguimiento e intercomunicación.	Se debe implementar un sistema que permita capturar, almacenar y compartir el conocimiento adquirido por los operarios a lo largo del tiempo. Esto asegura que la experiencia no se pierda, fomentando una cultura organizacional basada en la mejora continua y en la innovación. La creación de mecanismos para la transferencia sistemática de conocimientos asegura la continuidad de los mismos.

Figura 1. *Pilares de la Innovación del Mantenimiento del ARMP*

Este planteo revela la urgencia y necesidad de una reforma integral en la gestión del mantenimiento en el ARMP. El desarrollo coordinado de estos tres pilares (la capacitación como rol central y motor del cambio de habilidades y mentalidad, la innovación tecnológica como herramienta de eficiencia, y la gestión del conocimiento como sustento de la mejora continua), potenciado por la destacada capacidad y vocación de su personal, es esencial para alcanzar un modelo sostenible que optimice los recursos, mejore la operatividad y fortalezca el capital humano, generando una sinergia transformadora invaluable.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS

Para abordar la problemática descripta y la identificada ausencia de antecedentes en materia de capacitación en gestión del mantenimiento y del conocimiento, se formulan las siguientes preguntas e hipótesis, validadas en consulta con personal idóneo del ARMP. Estas constituyen la piedra angular que justifica y estructura el presente TIF.

Preguntas de Investigación:

- ✓ ¿De qué manera influye la capacitación en gestión del mantenimiento sobre la eficiencia y eficacia de las tareas de mantenimiento en el Arsenal Naval Mar del Plata?
- ✓ ¿Cuáles son las principales barreras culturales y organizativas que dificultan la adopción de modelos reconocidos de mantenimiento en el ARMP?

- ✓ ¿Cómo puede la incorporación de tecnologías innovadoras contribuir a la mejora de la calidad y continuidad del mantenimiento en las unidades de la Armada Argentina?
- ✓ ¿Qué impacto tiene la ausencia de una gestión formal del conocimiento en la pérdida de experiencia y habilidades técnicas del personal de mantenimiento?
- ✓ ¿Qué estrategias de capacitación y gestión del conocimiento pueden facilitar un cambio cultural efectivo hacia un sistema de mantenimiento más eficiente en el ARMP?

Hipótesis:

- ✓ La implementación de programas de capacitación específicos en gestión del mantenimiento mejora significativamente la eficiencia de las tareas efectuadas en el ARMP.
- ✓ La persistencia de una cultura organizacional orientada a "hacer las cosas como siempre se hicieron" constituye una barrera importante para la adopción de modelos de mantenimiento innovadores en el ARMP.
- ✓ La incorporación de tecnologías avanzadas y sistemas informatizados de gestión del mantenimiento incrementa la disponibilidad operativa y la calidad de los procesos de mantenimiento.
- ✓ La falta de un sistema formalizado para la gestión del conocimiento provoca una pérdida considerable de experiencia valiosa, afectando negativamente la calidad del mantenimiento.
- ✓ La aplicación conjunta de capacitación continua y gestión del conocimiento promueve un cambio progresivo en la cultura organizacional, contribuyendo a la modernización y eficiencia del mantenimiento en la Armada Argentina.

OBJETIVOS DEL TIF

Se presenta el objetivo principal y los específicos del presente TIF**.**

OBJETIVO PRINCIPAL

Desarrollar un marco integral de referencia, tanto conceptual como metodológico, para la transformación e innovación del sistema de mantenimiento del ARMP, mediante la sistematización y exposición de conocimientos sobre tipos de mantenimiento, métodos de de análisis de fallas y principios sobre gestión del conocimiento, con el fin de establecer

de análisis de fallas y principios sobre gestión del conocimiento, con el fin de establecer las bases sólidas para la capacitación continua del personal y la optimización de las prácticas de mantenimiento aplicadas a los activos de la Armada Argentina.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Exponer y desarrollar los conceptos y fundamentos esenciales para el diseño e implementación de planes de capacitación efectivos y sostenibles en materia de mantenimiento y gestión del conocimiento para el personal del ARMP.
- Diagnosticar los desafíos organizacionales y operativos, con respecto a gestión del mantenimiento.
- Profundizar en los conceptos fundamentales del mantenimiento, sus diferentes tipos, beneficios e inconvenientes y sus criterios de aplicación.
- Analizar y valorar la importancia estratégica y los beneficios tangibles de una gestión de mantenimiento adecuada, así como las consecuencias de su incorrecta aplicación o ausencia.
- Valorar y resaltar la importancia crítica de un sistema robusto y responsable para la recopilación, análisis y utilización de datos de mantenimiento, como base para la toma de decisiones informada.
- Introducir y detallar los conceptos y metodologías prácticas para el análisis de fallas, facilitando su correcta aplicación en el ARMP.
- Optimizar los tiempos de ejecución de obras de mantenimiento, garantizando eficiencia y seguridad.
- Fomentar el desarrollo de un ambiente de trabajo colaborativo, orientado a la transmisión activa, la captura sistemática y la generación continua de conocimiento entre el personal.
- Promover un cambio cultural hacia un enfoque de mejora continua en todos los procesos y actividades de mantenimiento.
- Esbozar un cronograma tentativo para las fases de capacitación e implementación progresiva de las innovaciones propuestas en la metodología de trabajo del ARMP.
- Analizar la viabilidad de integrar sistemas informáticos que optimicen la planificación, control y seguimiento de las tareas de mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

En un entorno industrial y organizacional cada vez más complejo, la innovación en el mantenimiento es primordial para la eficacia operativa y la sostenibilidad. Esta realidad es crucial para la Armada Argentina, donde la implementación de prácticas de mantenimiento efectivas es fundamental para garantizar la vida útil y el correcto funcionamiento de sus activos.

La planificación adecuada del mantenimiento, apoyada por políticas efectivas, herramientas analíticas y técnicas de análisis de problemas, reduce significativamente los tiempos de inactividad e incrementa la vida útil de los sistemas. Esto se logra al identificar las causas raíz de los problemas, permitiendo mejoras proactivas que aseguran la continuidad operativa.

El estudio sistemático del comportamiento de averías y sus soluciones ha impulsado avances significativos en las técnicas de mantenimiento. Este análisis ha facilitado reparaciones anticipadas, convirtiendo al mantenimiento predictivo y preventivo en herramientas esenciales para la gestión eficiente de activos, aportando valor mediante la reducción de costos y la mejora del rendimiento.

Es fundamental implementar políticas de mantenimiento claras que guíen su gestión, favoreciendo la capacitación continua del personal, la transmisión del conocimiento y una cultura organizacional centrada en la mejora continua. Este enfoque optimiza los procesos de mantenimiento y fortalece la capacidad operativa de la Armada, asegurando que sus activos estén listos para cumplir su misión.

El presente trabajo se estructura en seis capítulos. El primero describe el marco institucional. Los capítulos segundo al quinto sientan las bases teóricas esenciales, desde tipos de mantenimiento y análisis de fallas hasta filosofías de gestión y la capitalización del conocimiento, que formarán parte de la capacitación integral que debe recibir el personal del ARMP. El sexto capítulo presenta una propuesta de implementación para esta institución, culminando con una conclusión integradora. Además, el Anexo A ofrece algunos ejemplos ilustrativos para reforzar la asimilación de los conceptos desarrollados.

CAPÍTULO 1. MARCO INSTITUCIONAL Y ESTRUCTURAL DE LA ARMADA ARGENTINA EN RELACIÓN CON EL ARSENAL NAVAL MAR DEL PLATA

Para abordar la optimización del mantenimiento en el Arsenal Naval Mar del Plata, es fundamental comprender su contexto operativo y organizacional. En este capítulo se presentará un panorama general del marco de la Administración Pública Nacional y las atribuciones del Ministerio de Defensa, junto con la estructura general de las Fuerzas Armadas y, en particular, de la Armada Argentina.

Se mencionarán objetivos, visiones, configuraciones internas, contexto social, despliegue naval, entre otros temas, con el fin de contextualizar adecuadamente las problemáticas identificadas y comprender la importancia de la propuesta desarrollada en este Trabajo Integrador Final.

1.1. POSICIÓN GEOPOLÍTICA ARGENTINA, FUERZAS ARMADAS Y SOCIEDAD

La República Argentina, con una superficie total de aproximadamente 3.761.274 km², se posiciona como el octavo país más grande del mundo. Su ubicación le confiere una doble condición estratégica: es un Estado continental dentro de Sudamérica y un Estado bicontinental por sus aspiraciones y presencia en la Antártida, donde mantiene 13 bases, entre permanentes y temporales. A esta vasta extensión se suma su plataforma continental, que prácticamente duplica su territorio emergido, otorgándole un considerable espacio aeronaval, en el cual debería ejercer su potestad de control. Este extenso territorio alberga una notable riqueza en recursos naturales, incluyendo suelos fértiles, importantes yacimientos minerales, reservas energéticas y bienes agroindustriales, presentando una baja densidad poblacional en las zonas donde florecen los mismos.

Pese a estas importantes consideraciones productivas y geográficas desde donde se deben apoyar y consolidar las estrategias de Defensa Nacional, la Argentina ha mantenido una tendencia que demuestra una desconexión entre sus objetivos geopolíticos y los medios asignados para su defensa. Desde el retorno democrático en 1983, la gestión de la jurisdicción específica se ha concentrado en administrar recursos cada vez más escasos, dejando de lado políticas a largo plazo. Esta situación ha impactado profundamente en el estado de las propias capacidades militares, que año a año han visto la baja de

equipamiento por obsolescencia o falta de mantenimiento y la imposibilidad de sostener adecuadamente el material existente.

La brecha entre el valor de lo que se quiere conservar, justamente aquellas consideraciones ligadas al peso específico de la Argentina, y la gestión de los recursos que promueven herramientas para brindar protección, fue ampliándose de manera constante desde el año 1983. Una de las causas del deterioro de medios y capacidades se puede entender por el peso del sector dentro de la agenda pública y política.

"*La dificultad en el posicionamiento en agenda ha implicado una seria limitación para promover el interés del sector dentro del arco político. Entendiendo que el ámbito natural para dirimir los asuntos políticos es el institucional, el sector castrense se muestra como un ente sin poder comunicacional que despierte interés contundente tanto de la propia sociedad como de los representantes políticos de la misma. Relativizando su propio interés y perdiendo posicionamiento, la búsqueda de consensos necesarios para generar políticas de estado dentro del sector han colisionado con eventuales medidas de coyuntura que no han consolidado a que las necesidades del sector muten en intereses que puedan penetrar la agenda*" (Lacroix . 2019).

Teniendo en cuenta la irrelevancia del sector, que ha llevado a poco impulso para constituir capacidades instrumentales de acuerdo con los objetivos de defensa que deben perseguir. El peso de gestión en los últimos años se ha enfocado a la exposición que obtienen las misiones secundarias, las que demandan equipamiento menos especializado, más económico y no necesariamente militar. En esta línea, las misiones subsidiarias brindaron una garantía para dar relevancia al sector. Las misiones secundarias implican a la luz de un mundo hiperconectado, una garantía de visibilidad desde lo comunicacional exclamando a las instituciones a las que defiende y a la sociedad a la que protege un llamado de atención que pretende revitalizar un difuso interés de la política y la gente, y que en definitiva brinde una bocanada de aire a la idea de que las fuerzas efectivamente tienen una vida activa dentro de la sociedad.

Desde los años 80, la gestión militar ha oscilado entre el intento de adaptarse a nuevos escenarios y la progresiva reducción de capacidades. Como resultado, la adquisición de equipamiento ha estado marcada por compras oportunistas o soluciones temporales.

Este entorno estratégico argentino, con la extensa superficie terrestre y marítima y el voluptuoso espacio aéreo a custodiar, ha observado como el poder instrumental de las Fuerzas Armadas se fue disgregando pese a eventuales esfuerzos administrativos para tratar de evitarlo. En relación con esto, durante las últimas dos décadas surgieron intentos importantes a nivel administrativo para intentar revertir la tendencia declinante de las capacidades materiales, tal como el primer Ciclo de Planeamiento de la Defensa Nacional en el año 2007.

Sin embargo, los sucesivos ciclos de planeamiento adolecieron de presupuesto asignado para llevar adelante una política de defensa enfocada en lo instrumental, cuestión que en última instancia se constituye como el objetivo de una política de Defensa Nacional sólida. Es importante recalcar esto último: no puede existir doctrina de defensa, sin capacidades que conjuguen el planeamiento, los recursos humanos y los materiales.

1.1.1. LAS FUERZAS ARMADAS ARGENTINAS (FF.AA)

Dentro de la estructura de la Administración Pública Nacional (APN), el Ministerio de Defensa tiene la misión fundamental de asistir al Presidente de la Nación y al Jefe de Gabinete de Ministros en todo lo concerniente a la Defensa Nacional y las Fuerzas Armadas, en el marco de la Constitución y las leyes vigentes.

La Ley de Defensa Nacional (Nº 23.554, de 1988) define la Defensa Nacional como "…la integración y la acción coordinada de todas las fuerzas de la Nación para la solución de aquellos conflictos que requieran el empleo de las Fuerzas Armadas, en forma disuasiva o efectiva, para enfrentar las agresiones de origen externo." Su propósito fundamental, según la misma ley, es: "…garantizar de modo permanente la soberanía e independencia de la Nación Argentina, su integridad territorial y capacidad de autodeterminación; proteger la vida y la libertad de sus habitantes."

Para cumplir con estos objetivos, el Ministerio de Defensa cuenta con un Sistema de Defensa Nacional que emplea a las Fuerzas Armadas como instrumento militar, cuya integración y organización se visualizan en el siguiente esquema (Figura 1.1):

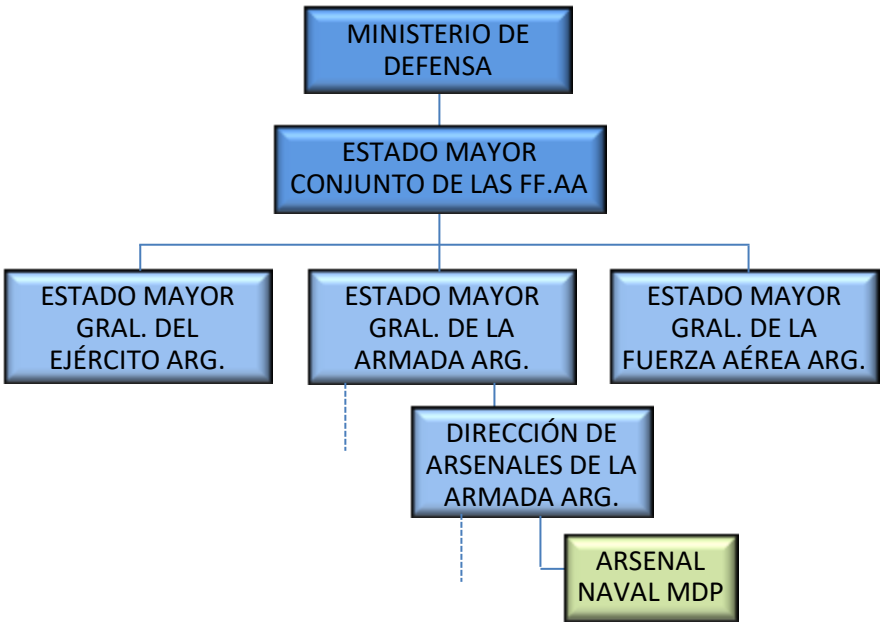


Figura 1.1. *Organigrama del Ministerio de Defensa (simplificado al ámbito de estudio)*

1.1.2. LA ARMADA DE LA REPÚBLICA ARGENTINA (ARA): Estructura y Despliegue

La Armada de la República Argentina (ARA) cuenta con la sede del Estado Mayor General de la Armada en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y con el Comando de Adiestramiento y Alistamiento de la Armada en la Base Naval Puerto Belgrano.

Misión de la Armada Argentina

Alistar, adiestrar y sostener los medios del Poder Naval de la Nación, y cumplir las funciones asignadas por el plexo legal vigente en los espacios marítimos, fluviales e insulares de jurisdicción e interés nacional a fin de contribuir con el sistema de defensa nacional y salvaguardar los intereses marítimos argentinos.

Visión de la Armada Argentina

Ser una institución integrada a la sociedad en su conjunto, flexible, eficiente, prestigiosa y respetada a nivel nacional e internacional por el profesionalismo de su personal; capaz de enfrentar los desafíos de la defensa en el mar; promotora de los intereses marítimos argentinos e impulsora del desarrollo científico y tecnológico del país.

El poder naval integrado se encuentra desplegado a lo largo del litoral del territorio nacional en tres Áreas Navales (Figura 1.2): Fluvial, Atlántica y Austral



Figura 1.2. *Mapa de áreas navales*

- **ÁREA NAVAL FLUVIAL (asiento en la Base Naval Zárate)**

  Tiene como tarea ejecutar operaciones de tránsito y vigilancia de los espacios fluviales, mantener presencia en los ríos y puertos dentro de su área de influencia y ejercer como autoridad de coordinación en las actividades conjuntas y combinadas dentro de su jurisdicción (Armada Argentina. 2025).

- **ÁREA NAVAL ATLÁNTICA (asiento en Base Naval Mar del Plata)**

  Su jurisdicción se extiende geográficamente desde el Cabo de San Antonio (Provincia de Buenos Aires) hasta la ciudad de Comodoro Rivadavia (Provincia de Chubut).
  Posee responsabilidad sobre el Mar Argentino, con su superficie equivalente al territorio nacional. Su principal tarea radica en optimizar las funciones de control del mar y atender en todo lo relativo a intereses marítimos.

- **ÁREA NAVAL AUSTRAL (asiento en la Base Naval Ushuaia)**

  El área geográfica de su jurisdicción comprende el extremo Sur de la Argentina continental, la Isla Grande de Tierra del Fuego e Isla de los Estados, además de los vastos espacios marítimos australes que llegan hasta el paralelo 60º Sur. Tiene su asiento natural en la ciudad de Ushuaia, en las instalaciones de la Base Naval, comprendiendo edificios del antiguo presidio del ex territorio.
  Cuenta con una importante tarea relacionada con la búsqueda y rescate de naves en emergencia en alta mar, el control del mar y sus recursos, y el tráfico marítimo en el canal Beagle.

A lo largo del territorio nacional la Armada Argentina cuenta con seis bases navales y cuatro bases aeronavales. Diez talleres y arsenales brindan mantenimiento a las unidades de superficie y de la Aviación Naval (Figura 1.3).

A su vez, la Armada Argentina cuenta con tres Hospitales Navales y seis Departamentos de Sanidad distribuidos estratégicamente en aquellos puntos en los que se pudiera requerir asistencia médica inmediata.



Figura 1.3. *Mapa de Bases, Talleres y Arsenales ARA*

Con su misión principal encomendada en defender las jurisdicciones marítimas nacionales, los espacios circundantes, ofrecer sostenimiento en búsqueda y rescate en una inmensa porción marina del Océano Atlántico y a su vez, proyectar capacidades hacia el continente antártico, la Armada Argentina, como se mencionó anteriormente, ha sufrido un deterioro sustancial de sus medios, llevando a una disminución paulatina de capacidades.

La capacidad de combate en superficie, brindada por la División de Destructores y la División de Corbetas con sus sistemas MEKO 360 y MEKO 140, sufrió el paso del tiempo llevando a que casi la mitad de los cascos queden inoperativos por falta de insumos o de mantenimientos mayores.

La trágica y dolorosa pérdida del A.R.A. San Juan en el año 2017 marcó el fin de una trayectoria de 85 años en el desarrollo de capacidades submarinas.

La capacidad de aviso y patrullaje fue la única que logró un pequeño impulso en las distintas gestiones de gobierno. Durante el período 2003-2015 se incorporaron 4 avisos usados Neftegaz desde Rusia, y posteriormente, entre 2015-2019, se firmó un acuerdo

para la adquisición de cuatro unidades del tipo OPV (*Offshore Patrol Vessel*) de fabricación francesa, con apostadero actual en la Base Naval Mar del Plata (BNMP). Los cuatro avisos rusos fueron puestos en valor en principio por los Arsenales Mar del Plata y Puerto Belgrano, y actualmente cumplen un papel clave en las campañas antárticas.

El presupuesto para el año 2025 incluye algunos ítems de interés para la Armada Argentina, motivo que genera un aire de esperanza a los que integramos esta fuerza y estamos al corriente de sus demorados planes de recuperación, siendo la adquisición de unidades submarinas el programa más ambicioso.

Aunque su mención es muy positiva, por experiencias pasadas somos conscientes de que han figuraron años anteriores en los sucesivos presupuestos, donde la inclusión de estos proyectos no siempre se traduce en una ejecución efectiva.

1.1.3. BASE NAVAL MAR DEL PLATA (BNMP)

La BNMP (Figura 1.4) es un complejo perteneciente a la Armada Argentina, con una ubicación geográfica de elevada importancia estratégica. Es el apostadero de varias unidades de la fuerza, incluyendo a las últimas adquisiciones.

El 21 de Marzo de 2000, la Armada Argentina, buscando no solo una mayor eficiencia y agilidad operativa, y afirmando su voluntad de compromiso con las cuestiones del mar, eligió a la Base Naval Mar del Plata para la el asentamiento del Comando del Área Naval Atlántica (ANAT), lo que significó un importante aumento de la presencia de buques en el litoral marítimo argentino.

Aquí no solo se alberga al ARMP (ámbito de aplicación de este trabajo) y el ANAT; también se encuentra el Comando de las Fuerzas de Submarinos (COFS), la Agrupación de Buzos Tácticos (APBT), la División Patrullado Marítimo (DVPM), la Agrupación Naval Hidrográfica (APHI), la Escuela de Submarinos (ESSU), entre otras dependencias. Esta diversidad de unidades y destinos genera un constante requerimiento de servicios de mantenimiento, los cuales son atendidos en su mayoría por el ARMP.



Figura 1.4. *Vista Aérea BNMP*

1.1.4. ARSENAL NAVAL MAR DEL PLATA (ARMP)

El Estado Mayor General de la Armada Argentina, cuya misión es "… contribuir con el sistema de defensa nacional y salvaguardar los intereses marítimos argentinos" (Armada, 2025), incluye en su estructura a la Dirección de Arsenales de la Armada, de la cual depende, entre otros destinos, el Arsenal Naval Mar del Plata (Figura 1.5).

El Arsenal Naval Mar del Plata tiene sus raíces en el Taller Integrado de Técnicas Múltiples para Submarinos (TISU), fundado en 1978 para brindar soporte técnico a la Fuerza de Submarinos ante la incorporación de los modernos submarinos Clase Tipo 209. Con la llegada de los submarinos Clase TR-1700 en la década de 1980, el TISU evolucionó y se transformó formalmente en un arsenal, ampliando sus capacidades y su infraestructura.

Este proceso implicó una modernización en las estrategias de mantenimiento naval, pasando de un enfoque correctivo a uno más especializado y preventivo. Se construyó nueva infraestructura edilicia, se adquirió herramental avanzado y, fundamentalmente, se capacitó al personal en las tecnologías de última generación requeridas para asegurar la operatividad de unidades navales altamente sofisticadas.

Desde entonces, el Arsenal Naval Mar del Plata ha sido indispensable en el mantenimiento y la sustentabilidad operativa de los activos de la Armada Argentina, contribuyendo a la soberanía marítima y la capacidad de defensa estratégica.

Aunque no escapa de los problemas de las Fuerzas Armadas mencionados en puntos anteriores, el trabajo del ARMP es considerado uno de los pilares fundamentales

para la conservación de los activos de la Armada Argentina, que además de atender las necesidades técnicas de los destinos y unidades en su zona, ha prestado apoyo a unidades externas, como por ejemplo, la Fragata ARA “Libertad”, el buque logístico ARA “Patagonia”, el Rompehielos ARA “Almirante Irizar“ y buques extranjeros pertenecientes a la Armada Chilena, a la Marina de Brasil o a la Española, entre otros.

Nuestro último desafío fue proyectar y efectuar el mantenimiento del centro hiperbárico de la Base Antártica “Carlini”, con intención de implementarlo en forma continua. Esta tarea no solo demostró la pericia de su personal, sino que también redujo significativamente el gasto que año tras año ocasionaba la tercerización de este mantenimiento, dando un gran alivio a su ajustado presupuesto.



Figura 1.5. *Vista Aérea. Ubicación del ARMP en la BNMP*

El ARMP está integrado por personal civil (aproximadamente 85 agentes de planta permanente) y personal militar (alrededor de 95 efectivos en planta rotativa), quienes trabajan en conjunto para preservar los activos de la Armada. El personal civil, en particular, representa un reservorio de experiencia técnica específica y continuidad institucional invaluable. Ambos grupos se caracterizan por un alto profesionalismo, vocación de servicio y un fuerte compromiso con la calidad de sus trabajos, siempre buscando optimizar el rendimiento de los equipos y unidades en beneficio de la Institución. Estas cualidades, combinadas con una gestión de mantenimiento moderna y eficiente

como la que se propone en este TFI, permitirían un crecimiento significativo en la productividad y efectividad del Arsenal, posicionándolo como un referente dentro del área de mantenimiento de las Fuerzas Armadas.

A continuación se presenta su estructura organizacional (Figura 1.6):

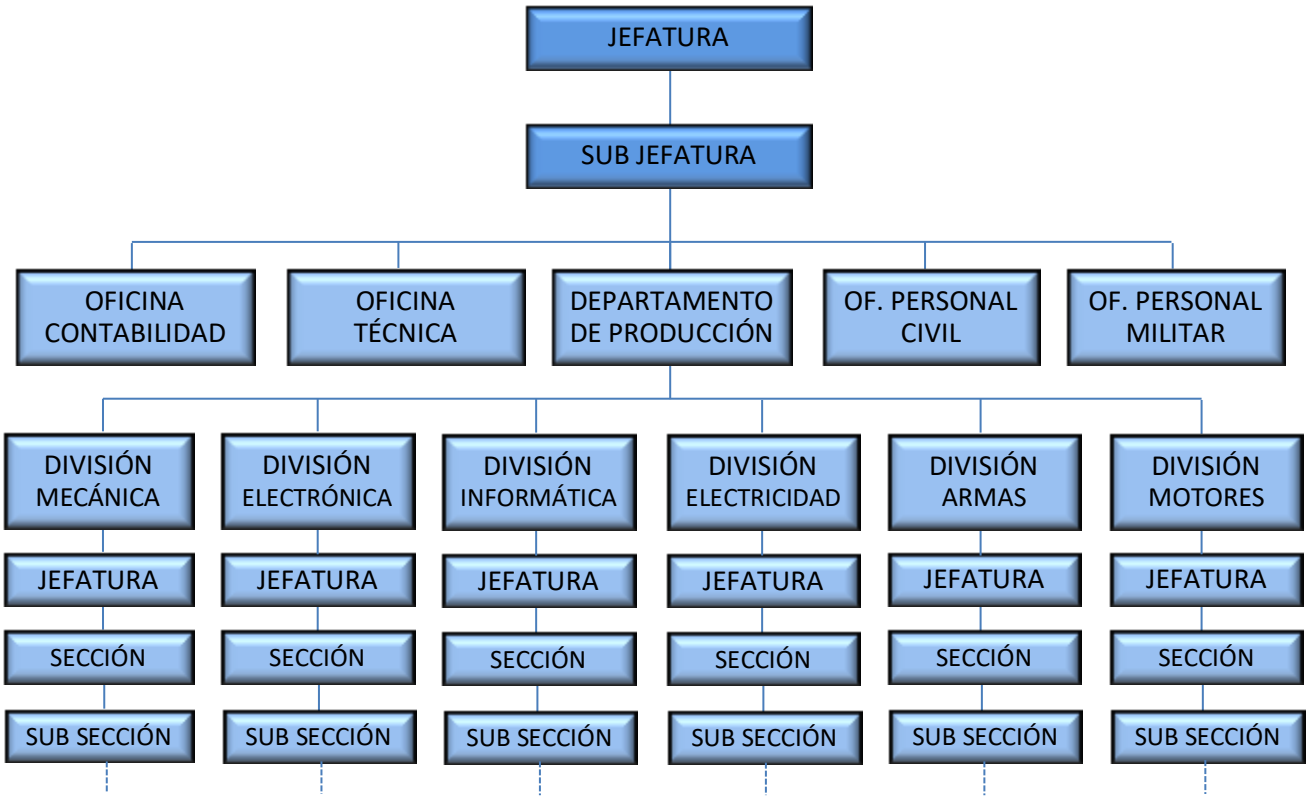


Figura 1.6. *Organigrama simplificado del ARMP*

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS Y ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

La operatividad sostenida y eficiente de los sistemas y unidades navales es un pilar fundamental para el cumplimiento de la misión de la Armada Argentina. En este contexto, el mantenimiento emerge no como un gasto, sino como una inversión estratégica fundamental que asegura la disponibilidad, fiabilidad y seguridad de los activos.

A lo largo del tiempo, las prácticas de mantenimiento han experimentado una notable evolución, transitando desde enfoques puramente reactivos hacia metodologías cada vez más sofisticadas y proactivas.

Este capítulo se adentra en el campo del mantenimiento, desde sus conceptos fundacionales y su desarrollo histórico, hasta las diversas estrategias y tipologías que permiten optimizar su gestión en el entorno naval actual. El objetivo es un conocimiento integral que sirva de base para la toma de decisiones informadas, la implementación de prácticas efectivas y el fomento de una cultura de excelencia en el cuidado de los activos de la Armada Argentina.

2.1. MARCO CONCEPTUAL DEL MANTENIMIENTO

Para abordar con eficacia las estrategias de mantenimiento, es imprescindible primero establecer un entendimiento común sobre sus fundamentos. Esta sección sienta las bases conceptuales, explorando la definición intrínseca del mantenimiento, su crucial importancia y los objetivos que persigue dentro de una organización como la Armada. Asimismo, se revisará su evolución histórica para comprender el contexto de las prácticas actuales y se definirán los conceptos clave que permiten medir y optimizar su desempeño.

2.1.1. ¿QUÉ ES EL MANTENIMIENTO? DEFINICIÓN Y ALCANCE

El mantenimiento es una función esencial dentro de cualquier organización que busca garantizar la operación continua y eficiente de sus equipos y sistemas. A lo largo del tiempo, diversas entidades y organismos han establecido definiciones y estándares que orientan la práctica del mantenimiento, adaptándose a las necesidades tecnológicas y operativas actuales.

A continuación se presentan definiciones de mantenimiento según algunas normas reconocidas internacionalmente, con el fin de establecer un marco conceptual sólido para el estudio de la innovación en esta área.



- Según AFNOR (Asociación Francesa de Normalización)

  " *Conjunto de actividades destinadas a mantener o restaurar un sistema, equipo o instalación en un estado que permita su funcionamiento óptimo, asegurando la seguridad de las personas, la protección del medio ambiente y la calidad de los productos o servicios*." (Association Française de Normalisation, 2018)

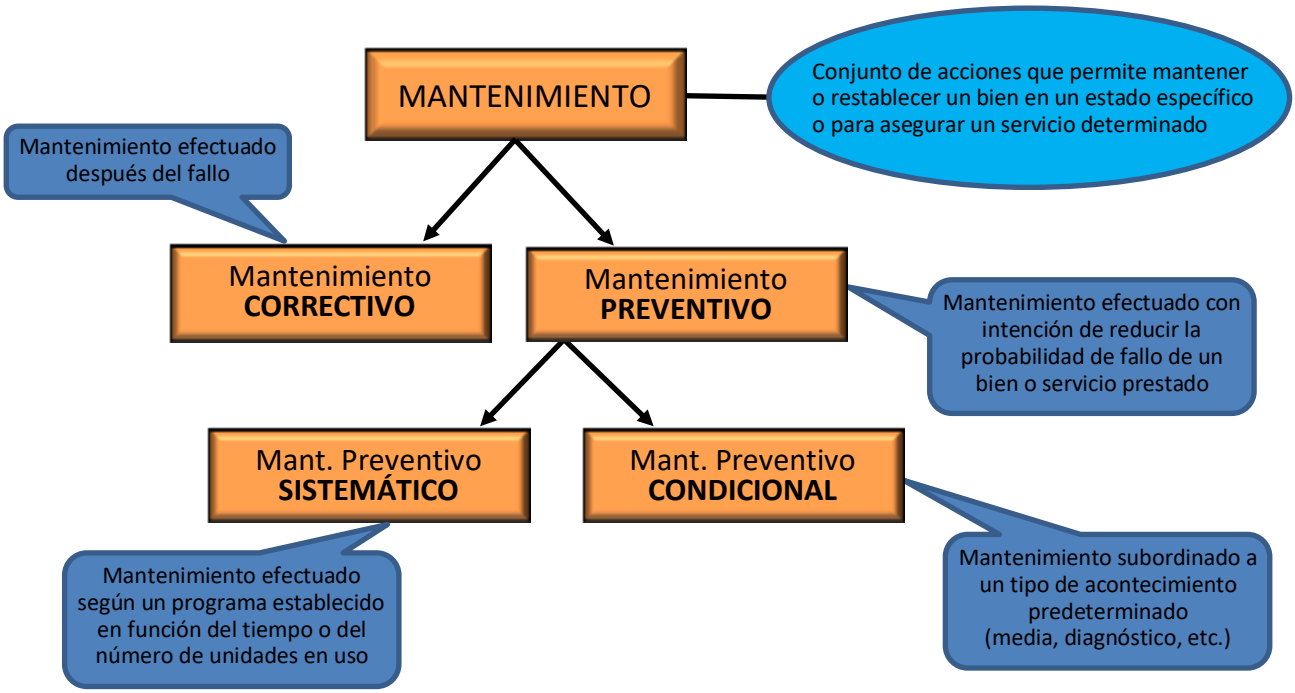


Figura 2.1. *Tipos de Mantenimiento Según Norma AFNOR*

- Según Norma ISO 55001:2014 (Gestión de Activos)

  "Mantenimiento industrial: Actividades planificadas y realizadas para mantener o restaurar la capacidad de los activos industriales para realizar su función requerida, incluyendo la prevención, detección y corrección de fallos." (International Organization for Standardization, 2014).

- Según Norma SAE

  "Cualquier actividad -incluyendo pruebas, mediciones, reemplazos, ajustes y reparaciones- destinada a restaurar o mantener una unidad funcional en un estado específico en el que pueda realizar sus funciones requeridas." (Society of Automotive Engineers, 1999)

- Según norma UNE-EN 13306-2011

  "*Una combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión durante el ciclo de vida de un elemento, destinada a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual puede desarrollar una función requerida*" (Asociación Española de Normalización, 2011)

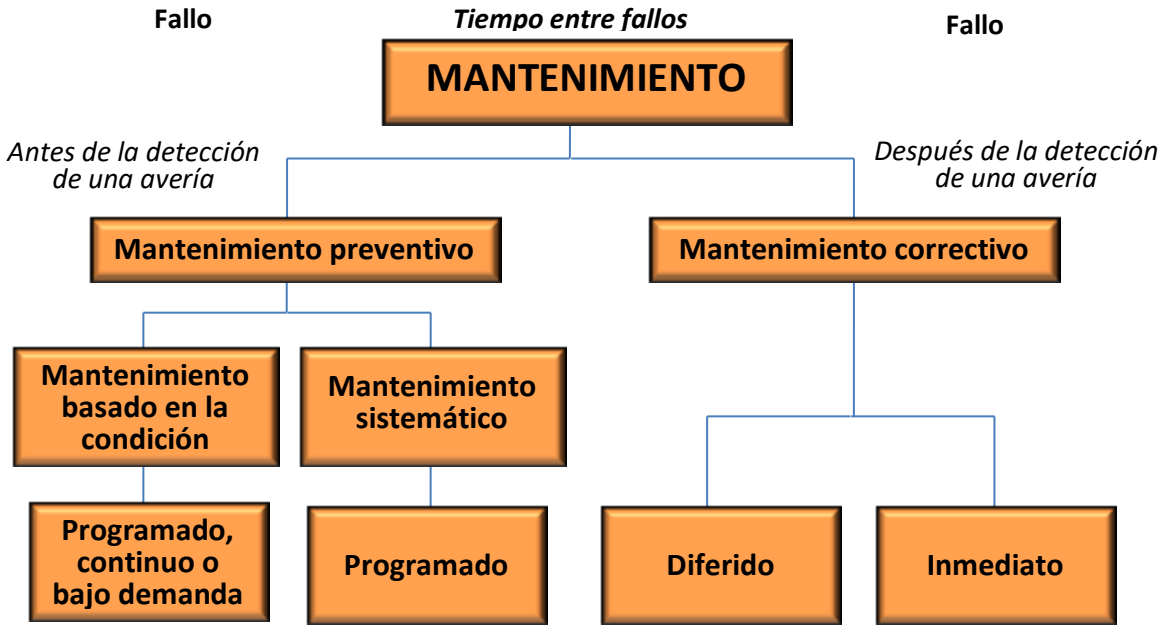


Figura 2.2. *Tipos de Mantenimiento Según Norma UNE*

Considerando las definiciones de mantenimiento según varias normas, se propone la siguiente definición:

MANTENIMIENTO: combinación de actividades técnicas, administrativas y de gestión planificadas para conservar, restaurar y mejorar la funcionalidad, eficiencia, seguridad y calidad de los sistemas, equipos e instalaciones, garantizando:

- La seguridad y salud de los trabajadores.
- Prevenir daños al medio ambiente y minimizar impactos ambientales.
- La continuidad del proceso productivo y la calidad de los productos o servicios.
- La reducción de la probabilidad de fallos y tiempos de inactividad, asegurando la disponibilidad y confiabilidad de los activos.
- La optimización de costos y recursos.
- Mejorar la eficiencia energética y productiva
- El cumplimiento de regulaciones y normas vigentes en cada territorio.

2.1.2. EL VÍNCULO ENTRE EL MANTENIMIENTO Y LA EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA

El mantenimiento industrial ha experimentado transformaciones significativas a lo largo de la historia, reflejando el progreso tecnológico y los cambios en las dinámicas del mercado. Desde los inicios de la Revolución Industrial, donde las operaciones se basaban en técnicas rudimentarias y reactivas, hasta la implementación de métodos avanzados en la actualidad, el enfoque hacia el mantenimiento ha ido evolucionando de manera constante. Cada etapa ha traído consigo nuevas estrategias y herramientas que han permitido a las organizaciones no solo optimizar sus operaciones, sino también adaptarse a un entorno empresarial en constante cambio.

A medida que las empresas han evolucionado, también lo han hecho sus expectativas en cuanto a la eficiencia y la fiabilidad de sus activos. La creciente complejidad de los sistemas de producción ha impulsado la necesidad de enfoques más proactivos y basados en datos, que no solo minimizan los tiempos de inactividad, sino que también contribuyen a la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental. La adopción de tecnologías innovadoras ha transformado la manera en que se lleva a cabo el mantenimiento, permitiendo una conexión más profunda entre los equipos y los sistemas de gestión.

Este recorrido histórico pone de relieve los desafíos y oportunidades que han ido surgiendo en el camino, así como los principios fundamentales que han guiado la evolución hacia prácticas de mantenimiento más efectivas. La comprensión de esta trayectoria es esencial para apreciar los avances alcanzados y anticipar futuras tendencias en la gestión de activos, en un contexto industrial que sigue evolucionando.

2.1.2.1. LA EVOLUCIÓN ORGANIZACIONAL DEL MANTENIMIENTO

Hasta la década de 1980, las industrias de los países occidentales se enfocaban principalmente en la maximización de la rentabilidad de sus inversiones. Sin embargo, la llegada de empresas asiáticas a los mercados occidentales cambió drásticamente esa perspectiva, poniendo al consumidor en el centro del proceso de adquisición. Este cambio provocó un aumento en las demandas relacionadas con la calidad de los productos y servicios, lo que llevó a las organizaciones a reconocer la calidad como un factor crítico para mantener su competitividad, especialmente en un contexto global.

Este cambio en la percepción del mantenimiento no fue exclusivo de las empresas orientales. En 1975, la Organización de las Naciones Unidas definió la función esencial de

cualquier entidad organizada usando la fórmula: Producción = Operación + Mantenimiento. En este contexto, se asignaron al mantenimiento responsabilidades esenciales, tales como:

- Minimizar el tiempo de inactividad de los equipos que afecta la producción.
- Realizar reparaciones oportunas para evitar daños que limiten el rendimiento.
- Garantizar el funcionamiento adecuado de las instalaciones, asegurando que los productos y servicios cumplan con los estándares de control de calidad establecidos.

La evolución del mantenimiento ha estado íntimamente relacionada con el desarrollo técnico e industrial de la humanidad. A finales del siglo XIX, la mecanización puso de manifiesto la necesidad de llevar a cabo reparaciones en la industria. Hasta 1914, el mantenimiento era considerado una actividad secundaria, realizada por los mismos operarios encargados de las funciones de producción.

La Primera Guerra Mundial marcó un punto de inflexión con la introducción de la producción en serie impulsada por Henry Ford. Las fábricas comenzaron a implementar modelos de producción más eficientes y, como resultado, se hizo evidente la necesidad de formar equipos especializados en la reparación de máquinas, lo que convirtió al mantenimiento en una actividad que debía ejecutarse con la mayor rapidez posible. Así, surgió un departamento subordinado a la operación, cuyo objetivo primordial fue la ejecución del mantenimiento correctivo.

Esta dinámica permaneció hasta la década de 1930, cuando, en respuesta a las exigencias de la Segunda Guerra Mundial y a la necesidad de aumentar la producción, las altas direcciones comenzaron a enfocarse no solo en la corrección de fallos, sino también en su prevención. Se inició así el desarrollo de un proceso integral de Prevención de Averías, que, junto al mantenimiento correctivo, estableció una estructura de mantenimiento tan fundamental como la operativa.

Hacia 1950, en un contexto de expansión industrial tras la guerra, así como con el crecimiento de la aviación comercial y el auge de la industria electrónica, los gerentes de mantenimiento se dieron cuenta de que el tiempo empleado en diagnosticar fallas a menudo superaba al requerido para llevar a cabo las reparaciones. En respuesta a esta situación, se conformaron grupos de especialistas que formaron un cuerpo asesor conocido como Ingeniería de Mantenimiento. Este equipo fue encargado de planificar y controlar el mantenimiento preventivo a través del análisis de causas y efectos de las fallas.



Desde el año 1966, el uso de computadoras se hizo más común y las Asociaciones Nacionales de Mantenimiento, establecidas a finales de la década anterior, comenzaron a ganar relevancia. La ingeniería de mantenimiento implementó criterios predictivos para anticipar fallas, lo que ayudó a optimizar el rendimiento de los equipos. Este enfoque, denominado Mantenimiento Predictivo, se integró a métodos automatizados de planificación y control, reduciendo la carga burocrática para los técnicos de mantenimiento. Esta evolución dio lugar a la creación de dos áreas principales dentro de la Ingeniería de Mantenimiento: el análisis de fallas crónicas y la Planificación y Control de Mantenimiento (PCM), esta última dedicada a diseñar, implementar y evaluar los Sistemas Automatizados de Mantenimiento.

Desde 1980, la disponibilidad de computadoras personales y sus software simplificados permitió a los departamentos de mantenimiento crear y gestionar sus propios programas, eliminando la dependencia de servicios externos para el procesamiento de información. La interconexión de estas computadoras ha facilitado que tanto el departamento de mantenimiento como otras áreas de la empresa accedan a información relevante, convirtiendo la PCM en un órgano consultor fundamental para la supervisión general de la producción.

Al final del siglo XX, el aumento de las expectativas de calidad por parte de los consumidores consolidó al mantenimiento como un componente esencial para la operación de los equipos, alcanzando una relevancia comparable a la de las propias operaciones. En resumen, las distintas etapas de la evolución del mantenimiento industrial han estado marcadas por la reducción de costos, la garantía de calidad (a través de la fiabilidad y la productividad de los equipos) y el cumplimiento de los plazos de ejecución (gracias a la disponibilidad eficaz de los equipos).

La gráfica de la Figura 2.3. muestra los hitos del mantenimiento a lo largo de la historia:



Figura 2.3. *Cronología de la Evolución del Mantenimiento*

2.1.3. LA IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO: FINALIDAD Y OBJETIVOS

El mantenimiento es un componente crítico en la operación de cualquier instalación industrial, con el objetivo primordial de conservar todos los activos que integran los distintos eslabones del sistema, tanto directa como indirectamente relacionados con los servicios. Su propósito es asegurar que estas instalaciones y equipos funcionen en condiciones óptimas, garantizando un alto nivel de confiabilidad y calidad, y al mismo tiempo, minimizando los costos relacionados.

El mantenimiento no se limita únicamente a la maquinaria; abarca también la infraestructura de apoyo, que incluye sistemas de iluminación, redes informáticas, suministro eléctrico, sistemas de aire comprimido, agua, climatización y el mantenimiento de áreas físicas como calles internas y depósitos. Esta gestión integral considera todos los elementos necesarios para el funcionamiento efectivo de una organización.

Un aspecto esencial del mantenimiento es la coordinación con el departamento de recursos humanos para implementar un plan de capacitación continua del personal.

Mantener al personal actualizado en las últimas tecnologías y prácticas de mantenimiento es fundamental para optimizar el rendimiento y la seguridad de las operaciones.

2.1.3.1. LA FINALIDAD DEL MANTENIMIENTO

En un contexto industrial donde la competencia es intensa y las expectativas de producción o servicio son elevadas, las empresas están bajo presión para maximizar su capacidad productiva, cumplir con rigurosos estándares de calidad y respetar plazos de entrega.

Aquí radica la importancia del mantenimiento.

La finalidad del mantenimiento es alcanzar el mayor nivel de efectividad en el funcionamiento del sistema productivo y de servicios, buscando minimizar la contaminación ambiental y asegurar la protección del personal, todo esto al menor costo posible.

Esto implica varios objetivos clave:

- **Conservación del sistema:** mantener los sistemas de producción y servicios operando con un elevado grado de fiabilidad.



- **Reducción de fallas:** disminuir tanto la frecuencia como la gravedad de las averías y mal funcionamientos.
- **Cumplimiento de normas:** asegurar que se sigan las normativas de higiene y seguridad laboral para promover un entorno de trabajo seguro.
- **Sostenibilidad:** minimizar el impacto ambiental negativo que puedan generar las operaciones.
- **Control de costos:** implementar estrategias que reduzcan los costos de operación y mantenimiento al mínimo posible.

Es importante que todas las actividades de mantenimiento sigan las directrices establecidas para garantizar que la producción o el servicio no se vean interrumpidos por fallas inesperadas o incidentes. Así, el mantenimiento se convierte en un aliado estratégico para la productividad y competitividad de una organización, asegurando que se cumplan los objetivos de calidad y eficiencia en un entorno desafiante.

2.1.3.2. OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO

Los objetivos del mantenimiento deben estar en estrecha alineación con los fines estratégicos de la organización donde se aplican, siendo específicos y concretos en las acciones que lleva a cabo el área. A continuación, se exponen los objetivos fundamentales que deben guiar las actividades de mantenimiento de manera efectiva:

1. Máxima Producción

- **Asegurar la disponibilidad óptima:** es crucial mantener la fiabilidad de los sistemas, instalaciones, maquinaria y equipos. Esto no solo implica su operatividad, sino también la implementación de un programa de mantenimiento preventivo que minimice las interrupciones.
- **Reparar averías de forma eficiente:** establecer protocolos eficientes de intervención permite reducir al mínimo el tiempo de inactividad, lo que es vital para cumplir con los plazos de producción y calidad.

2. Mínimo Costo

- **Minimizar la frecuencia de fallas:** adoptar un enfoque proactivo en la gestión del mantenimiento puede reducir considerablemente la ocurrencia de fallas, optimizando así el rendimiento económico del sector.
- **Ampliar la vida útil del equipo:** mediante un mantenimiento correctivo y preventivo bien planificado, se puede extender la vida útil de las máquinas e instalaciones, lo que impacta favorablemente en la inversión a largo plazo.
- **Gestión eficaz del inventario:** implementar un sistema de control de stock que asegure la disponibilidad de repuestos y materiales necesarios para el mantenimiento, evitando tanto la acumulación excesiva como el desabastecimiento.
- **Control del presupuesto:** mantenerse dentro de los costos operativos anuales es esencial. Para ello, es importante establecer indicadores de rendimiento y revisar periódicamente los gastos.

3. Calidad Requerida

- **Calidad en las reparaciones:** las intervenciones en equipos e instalaciones no solo deben solucionar los problemas técnicos inmediatos, sino también asegurar que se respete la calidad esperada de los productos finales.
- **Funcionalidad sin distorsiones:** lograr que las operaciones de producción o servicio se mantengan eficientes y sin interrupciones es vital para la competitividad en el mercado.
- **Detección averías que comprometen la calidad:** implementar un enfoque sistemático para identificar y corregir averías que puedan afectar la calidad del producto o servicio.

4. Conservación de la Energía

- **Mantenimiento de instalaciones auxiliares:** es fundamental conservar en buen estado las instalaciones de apoyo, asegurando su eficacia y eficiencia operativa.



- **Minimizar paradas innecesarias:** la prevención de paros y arranques frecuentes contribuye no solo a la eficiencia operativa, sino también a la reducción de costos energéticos.
- **Monitoreo del rendimiento energético:** evaluar y ajustar el rendimiento de los equipos para optimizar el consumo de energía es clave en un entorno industrial moderno y sustentable.

5. Conservación del Medio Ambiente

- **Protecciones antifugas:** mantenimiento regular de los sistemas de contención y protección en equipos susceptibles a fugas contaminantes es esencial para promover prácticas medioambientales responsables.
- **Prevención de fallas en tratamiento de efluentes:** asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas de control de polución para evitar impactos negativos en el entorno.

6. Higiene y Seguridad

- **Protecciones de seguridad robustas:** la implementación y mantenimiento de dispositivos de seguridad en los equipos son indispensables para prevenir accidentes laborales.
- **Capacitación continua del personal:** proveer formación constante al personal sobre prácticas de seguridad es esencial para reducir riesgos de accidentes y asegurar una cultura de seguridad en el trabajo.
- **Operatividad segura de los equipos:** garantizar que todos los equipos funcionen adecuadamente no solo protege la inversión de la empresa, sino que también contribuye a un entorno laboral seguro.

7. Implicación del Personal

- **Fomento de la participación en TPM:** promover una cultura de Mantenimiento Productivo Total (TPM. Ver Capítulo 4) que incentive la participación activa de todos los empleados es clave para la sostenibilidad del mantenimiento industrial.

- **Involucramiento en técnicas de calidad:** integrar a los trabajadores en técnicas de mejora continua y calidad fortalece el compromiso del personal y potencia la efectividad de los procesos de mantenimiento.

Estos objetivos establecen un marco integral para la gestión del mantenimiento, asegurando no sólo su ejecución eficaz, sino también su alineación estratégica con los objetivos organizacionales, contribuyendo así al éxito y sostenibilidad de la organización en un entorno competitivo o, en nuestro caso, preservar los activos de la Armada Argentina en óptimas condiciones operativas.



2.1.4. VARIABLES DEL MANTENIMIENTO

Para comprender y maximizar la efectividad de las actividades de mantenimiento, es esencial analizar diversas variables clave que impactan de manera significativa en el rendimiento de los sistemas. A continuación, se enumeran las principales variables del mantenimiento que deben ser consideradas:

1. **Fiabilidad**
2. **Disponibilidad**
3. **Mantenibilidad**
4. **Calidad**
5. **Seguridad**
6. **Costo**
7. **Entrega/Plazo**

1. Fiabilidad

La fiabilidad se define como la capacidad de un sistema, máquina o equipo para desempeñarse correctamente sin fallas durante un período específico y bajo condiciones predeterminadas. Se expresa en términos de probabilidad, que varía de 0 (falla segura) a 1 (desempeño seguro). Esta variable está intrínsecamente relacionada con la probabilidad de falla, la cual se mide mediante la tasa de fallas, calculada como el número de fallas registrado dividido por el total de horas de operación del equipo. Un enfoque en la

fiabilidad permite anticipar problemas y priorizar planes de mantenimiento específicos que minimicen las interrupciones.

2. Disponibilidad

La disponibilidad se refiere al tiempo que un sistema o equipo está operativo y disponible para su uso. Esta variable depende de factores como la frecuencia de las fallas y el tiempo necesario para restablecer su funcionamiento, excluyendo paradas no programadas, como huelgas o caídas en la demanda. Una alta disponibilidad indica un sistema confiable y eficiente, fundamental para mantener la producción continua.

3. Mantenibilidad

La mantenibilidad es la probabilidad de que un sistema, máquina o equipo pueda ser reparado a su condición operativa especificada dentro de un tiempo determinado. Esta variable depende del diseño del equipo y de la implementación de procedimientos de mantenimiento adecuados. La mantenibilidad se puede expresar en términos de la frecuencia con que se necesitan las intervenciones, la duración de esas intervenciones, así como el costo asociado. Un equipo fácil de mantener no solo reduce tiempos de inactividad, sino que también mejora la moral del personal de mantenimiento.

4. Calidad

La calidad en el mantenimiento es primordial. Su objetivo es evitar fallas y restaurar los sistemas lo más pronto posible, asegurando que operen a los niveles de producción y estándares de calidad requeridos. Un enfoque en calidad reduce costos a largo plazo, ya que minimiza el riesgo de fallas recurrentes que pueden resultar en pérdidas significativas y en la insatisfacción del cliente.

5. Seguridad

La seguridad se refiere a la protección del personal, instalaciones, equipos y maquinarias durante las operaciones de mantenimiento. Invertir en prácticas de mantenimiento seguras no solo cumple con las normativas vigentes, sino que también protege la integridad física de los trabajadores y preserva activos de la empresa. La seguridad debe ser una prioridad constante y no debe relegarse a un segundo plano en busca de incrementar la eficiencia.



6. Costo

La variable de costo implica la inversión realizada en actividades de mantenimiento, que incluye materiales, herramientas y mano de obra. La competitividad del mercado exige a las empresas adoptar estrategias que optimicen los costos de mantenimiento, permitiendo mantener la calidad y fiabilidad sin comprometer la eficiencia.

7. Entrega/Plazo

El tiempo de entrega y el cumplimiento de plazos son aspectos críticos en el mantenimiento. En un entorno de producción ágil, el tiempo es un factor determinante que influye en la capacidad de una empresa para cumplir sus compromisos con los clientes. Estrategias de mantenimiento efectivas deben considerar la planificación eficiente de los recursos y el tiempo de ejecución para minimizar las interrupciones operativas.

La comprensión y gestión eficaz de estas variables del mantenimiento son esenciales para maximizar la eficiencia operativa, reducir costos y aumentar la satisfacción del cliente. Una estrategia integral que tome en cuenta estas variables permitirá a la organización mantenerse competitiva y confiable en sus labores.



2.2. GESTIÓN Y POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO

Una vez comprendidos los conceptos básicos, el siguiente paso es analizar cómo el mantenimiento se integra en el entramado organizacional y cómo se traduce en acciones concretas. Esta sección se adentra en la distinción y sinergia entre el mantenimiento técnico y su gestión estratégica, destacando la importancia de establecer políticas claras que orienten la toma de decisiones y la selección de las estrategias más adecuadas. Se abordará, además, el contraste fundamental entre operar con y sin un enfoque estratégico de mantenimiento, subrayando los beneficios inherentes a una planificación rigurosa.

2.2.1. MANTENIMIENTO vs. GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO: Roles e Interrelación

La gestión de mantenimiento y el mantenimiento son dos conceptos estrechamente relacionados, pero distintos.

En el siguiente cuadro (Tabla 2.1) se comparan algunos ítems característicos para reforzar la comprensión del rol de cada uno.

Tabla 2.1. *Mantenimiento vs. Gestión del Mantenimiento*

	GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	MANTENIMIENTO
ALCANCE	Consiste en la planificación, organización y control de esas actividades, buscando una optimización general en el uso de recursos.	Comprende las acciones técnicas y operativas directas realizadas sobre los activos para conservarlos o restaurarlos a un estado funcional.
OBJETIVO	Busca alinear las actividades de mantenimiento con los objetivos estratégicos de la organización, maximizando la eficiencia y minimizando costos	Asegurar que los equipos funcionen correctamente y evitar fallas inmediatas
EJECUCIÓN	Incluye la formulación de políticas, la creación de procedimientos y el análisis de indicadores para la toma de decisiones	Se refiere a las tareas individuales y específicas que se realizan en los equipos
HERRAMIENTAS	Utiliza sistemas de gestión y análisis de datos, herramientas de planificación y software especializado para gestionar las operaciones de mantenimiento	Utiliza herramientas y técnicas específicas para realizar tareas

Ahora ¿Qué es la ***gestión del mantenimiento***?

Según la norma UNE 157001:2012, la gestión de mantenimiento se define como:

"Conjunto de actividades y decisiones destinadas a planificar, organizar, dirigir y controlar el mantenimiento de los activos, con el objetivo de asegurar su disponibilidad, confiabilidad y eficiencia, minimizando los costos y riesgos asociados."

Esta norma establece los siguientes principios para la gestión de mantenimiento:

- Enfoque en la disponibilidad y confiabilidad de los activos.
- Planificación y programación del mantenimiento.
- Supervisión y control del mantenimiento.
- Evaluación y mejora continua del proceso de mantenimiento.
- Integración con otros procesos de la organización.

La norma también define los siguientes elementos claves para la gestión de mantenimiento:



- Política de mantenimiento.
- Objetivos de mantenimiento.
- Plan de mantenimiento.
- Programa de mantenimiento.
- Registro de mantenimiento.
- Análisis de fallos y mejora continua.

El mantenimiento es una función esencial que asegura el buen estado de los activos, mientras que la gestión de mantenimiento es un enfoque más amplio que abarca la planificación, organización, dirección y control de esas actividades, con el objeto de lograr su disponibilidad, supervisión, análisis y optimización.



2.2.1.1. BENEFICIOS DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

Una acertada toma de decisiones en la gestión del mantenimiento ocasiona múltiples resultados positivos para el organismo o empresa, como los mencionados a continuación:

- **Aumento de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos**
  Al mantener los activos en buen estado, se reduce el tiempo de inactividad no planificado, mejorando la productividad.
- **Reducción de costos operativos**
  El mantenimiento preventivo y predictivo evita reparaciones mayores y reemplazos costosos, optimizando el gasto en mantenimiento.
- **Mejora en la seguridad laboral**
  Equipos bien mantenidos disminuyen el riesgo de accidentes y fallos que puedan poner en peligro a los trabajadores.
- **Extensión de la vida útil de los activos**
  Un mantenimiento adecuado prolonga la durabilidad de maquinarias e instalaciones, retrasando la necesidad de inversiones en nuevos equipos.
- **Optimización del uso de recursos**
  Permite planificar mejor el personal, las piezas de repuesto y el tiempo, evitando sobrecargas o faltantes.
- **Mejora en la calidad del producto o servicio**
  Equipos en óptimas condiciones aseguran procesos más estables y productos con mejores estándares.

- **Facilita la toma de decisiones basada en datos**
  La gestión moderna incluye sistemas que recogen información y permiten análisis predictivos y prescriptivos para anticipar fallas.

2.2.1.2. PRINCIPALES FUNCIONES DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

- **Planificación:** establecer objetivos, prioridades y recursos para el mantenimiento.
- **Programación:** crear horarios y agendas para las actividades de mantenimiento.
- **Supervisión:** monitorear y controlar el progreso del mantenimiento.
- **Control:** evaluar y ajustar el proceso de mantenimiento para mejorar la eficiencia.
- **Registro:** mantener registros de las actividades de mantenimiento para análisis y mejora continua.
- **Capacitación:** involucrarse en el desarrollo personal y la transmisión del conocimiento.
- **Administración:** control de inventario, suministro, tiempo y presupuesto.

2.3. POLÍTICAS Y TIPOS DE MANTENIMIENTO

Las ***políticas de mantenimiento*** (Figura 2.4) son directrices establecidas por una organización que determinan cómo se llevará a cabo el mantenimiento de los activos. Estas políticas guían la toma de decisiones y establecen el marco dentro del cual se operarán las actividades de mantenimiento.

SU ENFOQUE:

- Se centran en la filosofía general y el enfoque estratégico hacia el mantenimiento.
- Incluyen principios de gestión, objetivos a largo plazo y la forma en que el mantenimiento se integra en la cultura organizativa.

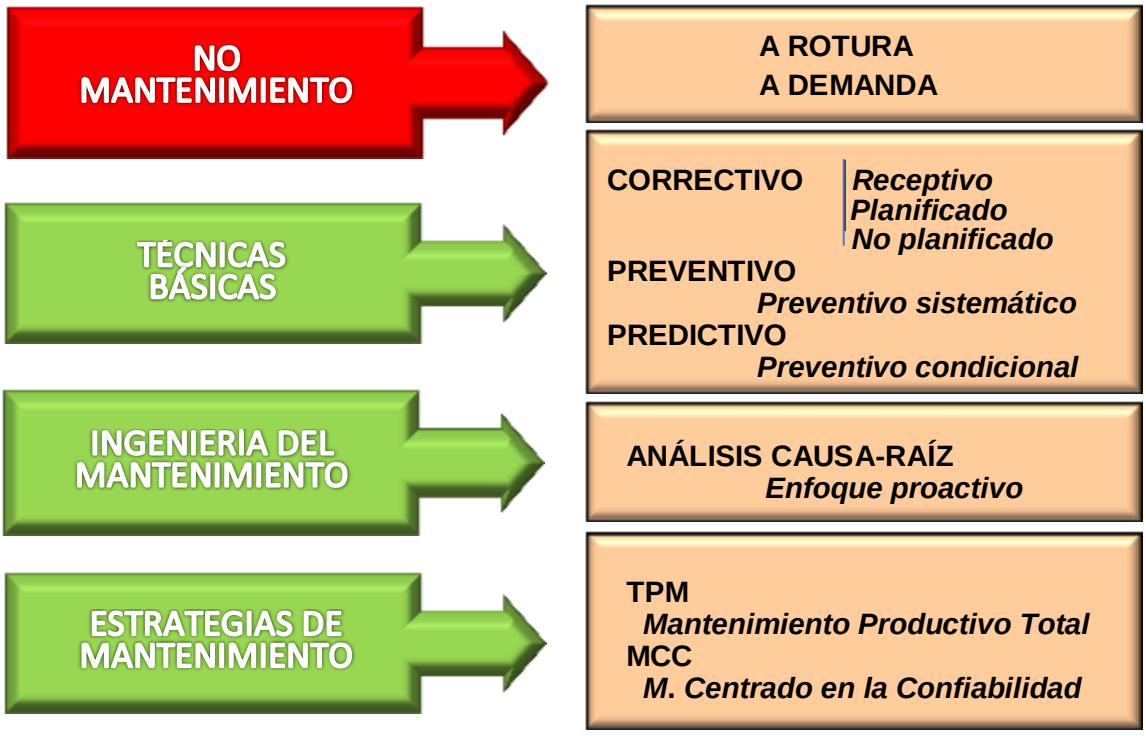


Figura 2.4. *Políticas de Mantenimiento*

Los ***tipos de mantenimiento*** son las distintas modalidades o enfoques específicos que se utilizan para llevar a cabo las actividades de mantenimiento en función de las necesidades de los activos y las decisiones estratégicas de la política.

SU ENFOQUE:

- Acciones concretas y técnicas que se llevan a cabo en el mantenimiento de activos.
- Cada tipo de mantenimiento define una metodología específica para operar.

2.3.1. POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO vs. TIPOS DE MANTENIMIENTO

Para una mejor comprensión, en la Tabla 2.2 se presentan las diferencias más significativas entre estos dos conceptos.

Tabla 2.2. *Comparativa: Políticas y Tipos de Mantenimiento*

	POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO	TIPOS DE MANTENIMIENTO
NATURALEZA	Son estratégicas, orientadas a la gestión general y organización del mantenimiento	Son tácticas, refiriéndose a las maneras específicas de realizar mantenimiento.
OBJETIVO	Proporcionar un marco de referencia para la gestión del mantenimiento	Describir modalidades específicas aplicadas para realizar actividades de mantenimiento
PROPÓSITO	Establecer directrices que alineen las prácticas de mantenimiento con los objetivos estratégicos de la organización	Facilitar la implementación de acciones concretas para mantener o restablecer el funcionamiento de los activos
ABSTRACCIÓN	Operan en un nivel más abstracto y estratégico	Son más específicas y técnicas
ALCANCE TEMPORAL	Suelen tener un enfoque a largo plazo, ya que deben adaptarse a la estrategia empresarial	Se pueden aplicar a corto, mediano o largo plazo, según actividad.
IMPLEMENTACIÓN	Se deben comunicar y ejemplificar a todos los niveles de la organización, promoviendo una cultura de mantenimiento	Implementados por personal técnico y operativo que lleva a cabo las tareas de mantenimiento.
FLEXIBILIDAD	Más estáticas, aunque pueden adaptarse con el tiempo, requieren un análisis más profundo y aprobación para su modificación.	Son más dinámicos y pueden adaptarse rápidamente a las necesidades operativas, como ajustar la frecuencia del mantenimiento preventivo basado en fallos recientes.



Las políticas de mantenimiento establecen el "cómo" y el "por qué" de la gestión del mantenimiento, mientras que los tipos de mantenimiento se centran en el "qué" se hace en términos de actividades específicas. Ambas son esenciales para una gestión de mantenimiento eficaz, pero operan en niveles diferentes de la planificación y ejecución.

2.4. ESTRATEGIAS Y TIPOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO: FUNDAMENTOS PARA LA OPTIMIZACIÓN

Con el marco conceptual y las directrices de gestión establecidas, en este apartado se describirán los tipos de mantenimiento (Figura 2.5), elementos conceptuales que constituyen la base para la toma de decisiones informada y la implementación de prácticas efectivas. Lejos de ser meras definiciones teóricas, la comprensión profunda de los diferentes tipos de mantenimiento, junto con sus respectivas ventajas, criterios de aplicación y metodologías de implementación, es una competencia esencial para todo el personal involucrado en el ciclo de vida de los activos de la Armada Argentina.



Figura 2.5. *Tipos de Mantenimiento*

Para el personal de la Armada, desde los niveles directivos y de planificación hasta los técnicos y operadores que ejecutan las tareas en el terreno, conocer estas herramientas conceptuales permite principalmente:

- Seleccionar la estrategia de mantenimiento más adecuada para cada tipo de equipo o sistema, considerando su criticidad, costos y patrones de falla.
- Optimizar la asignación de recursos (humanos, materiales, tiempo y presupuesto) al enfocar los esfuerzos donde realmente generan valor.
- Mejorar la planificación y programación de las actividades de mantenimiento, reduciendo tiempos de inactividad no programados y aumentando la disponibilidad de las unidades.
- Fomentar una cultura proactiva hacia la fiabilidad, anticipándose a las fallas en lugar de simplemente reaccionar ante ellas.
- Facilitar la comunicación y el entendimiento común entre diferentes áreas y niveles jerárquicos al utilizar un lenguaje técnico estandarizado.

2.4.1. NO MANTENIMIENTO

El **no mantenimiento** se refiere a la decisión consciente de no realizar ningún tipo de acción de mantenimiento planificado en equipos, maquinarias o sistemas durante un período determinado. En estas circunstancias, los activos operan sin intervenciones programadas para verificar su funcionamiento o estado.

Esta estrategia, aunque indeseada, se observa en el ARMP, por ejemplo, en equipos de baja criticidad.

2.4.1.1. OBJETIVOS DE NO MANTENIMIENTO

- Priorizar la reducción de costos operativos inmediatos, especialmente en contextos de presupuestos limitados.
- Aplicarse a equipos de baja criticidad, cuyo fallo no impacta significativamente la misión o la seguridad, o aquellos que cuentan con redundancia.
- Considerar activos que se encuentran en la etapa final de su vida útil, donde el costo de mantenimiento superaría el valor de su reparación o reemplazo.

2.4.1.2. CAMPO DE APLICACIÓN DEL NO MANTENIMINETO

El no mantenimiento es común en diversos escenarios, tales como:

- **Organizaciones con presupuestos limitados:** donde los costos de mantenimiento preventivo o predictivo son considerados altos y se prioriza la reducción de gastos inmediatos.
- **Industria de baja criticidad:** en sectores donde el fallo de un equipo no genera un impacto significativo sobre la producción o la seguridad.
- **Equipos en etapa final de vida útil:** cuando los costos de reparación podrían ser mayores que el valor remanente del activo.
- **Estrategias de riesgo aceptable:** donde se evalúan y aceptan los riesgos asociados a la posibilidad de fallos.

2.4.1.3. IMPLICACIONES Y RIESGOS DEL NO MANTENIMIENTO

El no mantenimiento puede acarrear varias consecuencias:

- **Riesgo aumentado de fallas:** al no realizar mantenimientos preventivos, las probabilidades de fallas inesperadas se incrementan, lo que puede resultar en paradas no programadas.

- **Pérdida de productividad:** las interrupciones ocasionadas por fallas no planeadas pueden causar tiempos de inactividad, lo que se traduce en pérdidas económicas.
- **Costos aumentados a largo plazo:** aunque el no mantenimiento puede reducir costos a corto plazo, los costos asociados a reparaciones y tiempo de inactividad suelen ser mayores en comparación con un enfoque de mantenimiento regular.

En la figura 2.6 se visualiza el ciclo de reparaciones que surgen al utilizar un esquema de *no mantenimiento*:

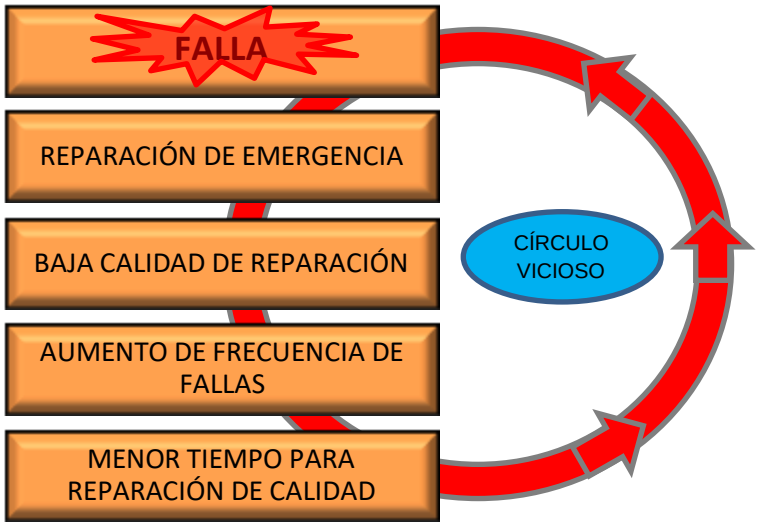


Figura 2.6. *Ciclo del No Mantenimiento*

2.4.1.4. RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN DEL NO MANTENIMIENTO

Si por falta de conocimiento en el campo del mantenimiento o por algunas otras razones se adopta un enfoque de no mantenimiento, es recomendable tener en cuenta lo siguiente:

- **Evaluar riesgos:** realizar un análisis detallado de cómo las fallas afectarían la operación y el costo asociado.
- **Monitoreo regular:** implementar algún tipo de monitoreo remoto o inspecciones visuales ocasionales, incluso si se opta por no hacer mantenimiento regular.
- **Capacitar al personal:** asegurar que los operadores estén capacitados para detectar signos de fallas inminentes o problemas potenciales que puedan requerir atención inmediata.

- **Planificar estrategias de contingencia:** tener un plan alternativo para responder a fallas inesperadas, minimizando el tiempo de inactividad ante problemas inminentes.
- **Revisar regularmente la estrategia:** evaluar periódicamente si el no mantenimiento sigue siendo una estrategia viable a medida que cambian las circunstancias del mercado, las tecnologías y la infraestructura.



Aunque el no mantenimiento puede parecer una opción económica en el corto plazo, las organizaciones deben ser cautelosas al implementarlo. La elección de adoptar esta estrategia requiere un análisis cuidadoso de los riesgos y costos involucrados. Una gestión proactiva, incluso en un entorno de no mantenimiento, puede ayudar a mitigar los efectos negativos asociados con la falta de cuidado programado en los activos.

2.4.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO (MC)

El mantenimiento correctivo se define como aquel realizado para reparar o restaurar un activo o equipo que ha fallado, volviendo a restablecer su funcionamiento normal. Se lleva a cabo una vez que se ha detectado una falla o un mal funcionamiento y puede abarcar desde reparaciones menores hasta la sustitución de componentes mayores.

2.4.2.1. OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO

- Devolver el activo a sus condiciones funcionales normales o a un estado aceptable de funcionamiento.
- Realizar la intervención de reparación en el menor tiempo posible para minimizar el impacto de la interrupción en las operaciones o la misión.
- Identificar, aunque sea de forma básica en el correctivo emergente, la causa inmediata del fallo para aplicar la solución adecuada.

2.4.2.2. TIPOS DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo puede clasificarse en tres categorías:

- **Mantenimiento Correctivo Receptivo**: se realiza en respuesta a un fallo que ya ha ocurrido. Implica diagnosticar la causa de la falla y proceder a la reparación. Es el tipo más común de mantenimiento correctivo.

- **Mantenimiento Correctivo Planificado**: se refiere a las reparaciones programadas previamente, llevadas a cabo en momentos oportunos que minimizan el impacto en la producción. Este tipo puede incluir reparaciones que no son urgentemente necesarias, pero que se programan durante paradas planificadas.

- **Mantenimiento Correctivo Emergente o No Planificado**: se produce de manera inesperada y requiere atención inmediata. Se caracteriza por su naturaleza no planificada y a menudo implica mayores costos y tiempos de inactividad.
  En los buques es normal recurrir a este tipo de reparación, denominada "Reparación de Fortuna", luego que se produzca una avería. Pretende salir del paso, tomando medidas de contención que permitan al equipo seguir funcionando, aunque no se consiga el rendimiento óptimo. Al llegar a puerto o astillero, se completará la reparación del fallo.
  En la figura 2.7 se visualiza el ciclo del mantenimiento correctivo.

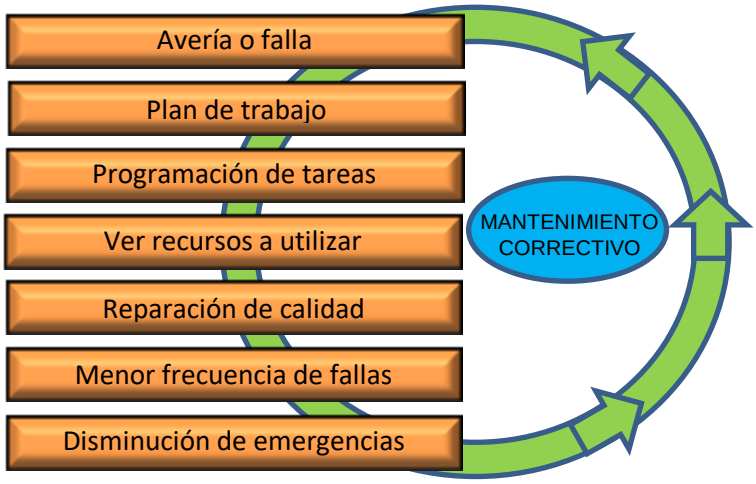


Figura2.7. *Ciclo del MC*

2.4.2.3. MÉTODOS DE INTERVENCIÓN DEL MC

La intervención en este tipo de mantenimiento puede dividirse en dos grande grupos:

- **POR SUSTITUCIÓN DE ELEMENTOS:** sustitución de la pieza dañada.
- **DE REPARACIÓN PROPIAMENTE DICHA:** reparación o refacción de una pieza dañada.

A continuación (tabla 2.3) se presentan las diferencias más relevantes entre ambos métodos:

Tabla 2.3. *Comparación Entre los Métodos de Intervención del MC*

	POR SUSTITUCIÓN DE ELEMENTOS	POR REPARACIÓN APLICADA
APLICACIÓN	Líneas de fabricación de alta producción	Todo tipo de sistemas, especialmente con dificultad de obtención de repuestos
CARACTERÍSTICAS	✓ Rápida respuesta ante la falla ✓ Bajo costo de mano de obra ✓ Elevado costo de repuesto	✓ Difícil programación de tiempo de reparación ✓ Alto costo de mano de obra ✓ Bajo costo de repuesto y materiales
INTERVENCIÓN	Sencilla y rápida	Consume un tiempo indefinido
INFRAESTRUCTURA	No requiere talleres auxiliares	Utiliza talleres auxiliares
TERCEARIZACIÓN	No requiere tercerización, en gral.	Puede solicitar la intervención de terceros
REQUERIMIENTO DE PLANTA	Simple y modular, de fácil mantenibilidad	Requiere transporte, repuestos, recursos humanos, maquinaria, etc.



El mantenimiento correctivo es altamente utilizado en la Armada. Su eficiencia puede influir significativamente en la productividad y rentabilidad de una organización. Si bien sus beneficios son evidentes, es importante reconocer y gestionar sus desventajas. La implementación cuidadosa de estrategias de mantenimiento correctivo, junto con un enfoque en la mejora continua, asegurará el equilibrio adecuado entre costo y eficacia en el mantenimiento.

2.4.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El **mantenimiento preventivo** es una estrategia que busca minimizar la probabilidad de fallos en los equipos y sistemas mediante actividades programadas y estructuradas. Este enfoque se centra en realizar intervenciones planificadas antes de que ocurran fallos, lo que resulta en una operación más eficiente y una vida útil prolongada de los activos.

2.4.3.1. TIPOS DE MANTENIMINETO PREVENTIVO

Existen dos clases de mantenimiento preventivo:

I. Mantenimiento Preventivo Sistemático

II. Mantenimiento Preventivo Condicional

I. MANTENIMIENTO PREVENTIVO SISTEMÁTICO

Este tipo de mantenimiento se basa en la realización de actividades de mantenimiento en intervalos de tiempo predefinidos, independientemente del estado del equipo, fundamentándose en recomendaciones del fabricante o en las mejores prácticas del sector. Se realiza de forma programada y periódica, lo que implica:

- **Frecuencia regular**: las actividades se llevan a cabo en intervalos de tiempo específicos, como semanalmente, mensualmente o anualmente.
- **Planificación**: cada acción está documentada dentro de un calendario de mantenimiento que garantiza la atención regular de todos los equipos críticos.
- **Ensayos y reemplazos**: incluye cambios de aceite, reemplazo de componentes, limpieza y otras tareas rutinarias.

II. MANTENIMIENTO PREVENTIVO CONDICIONAL

A diferencia del mantenimiento sistemático, este tipo de mantenimiento se caracteriza por su ejecución basada en la evaluación regular del estado de los equipos. Las intervenciones se planifican a partir de datos obtenidos de monitoreo continuo o inspecciones, asegurando que el mantenimiento se realice cuando realmente sea necesario.

Este enfoque se centra en:

- **Monitoreo continuo**: evaluaciones constantes del estado de la maquinaria, utilizando tecnologías como sensores, termografía, equipos de análisis de vibraciones y otros métodos de diagnóstico.
- **Intervención basada en datos**: las decisiones sobre el mantenimiento se toman con base en el estado real del equipo, permitiendo intervenciones más precisas y oportunas.
- **Eficiencia mejorada**: se ejecuta solo el mantenimiento necesario, lo que puede reducir costos y tiempo de inactividad innecesarios.

El ciclo del mantenimiento preventivo puede visualizarse en el siguiente gráfico (Figura 2.8):



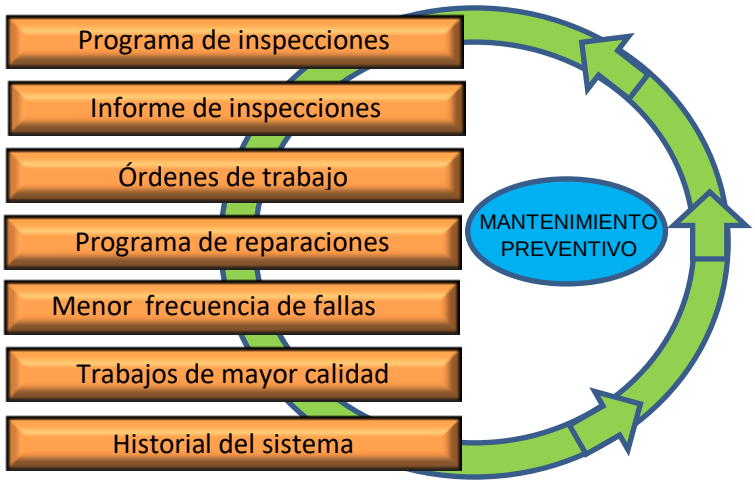


Figura 2.8. *Ciclo del Mantenimiento Preventivo*

2.4.3.2. METODOLOGÍA PARA IMPLEMENTAR EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

La implementación efectiva de un programa de mantenimiento preventivo requiere seguir una serie de pasos estructurados:

1. **Evaluación inicial**: realizar un inventario de los equipos, condiciones operativas y análisis del historial de fallos.
2. **Definición de estrategias y objetivos**: establecer un enfoque claro sobre qué tipo de mantenimiento se implementará (sistemático, condicional o ambos) y los objetivos que se desean alcanzar.
3. **Desarrollo de un plan de mantenimiento**: crear un calendario y listado de actividades, asegurando que se incluyan todas las intervenciones necesarias.
4. **Asignación de recursos**: determinar y asignar personal, herramientas y tecnología necesarios para llevar a cabo las actividades de mantenimiento.
5. **Capacitación del personal**: proveer entrenamiento adecuado al personal involucrado para que comprendan los procedimientos y el uso de tecnología de monitoreo, si aplica.
6. **Implementación y documentación**: ejecutar el plan de mantenimiento y registrar todas las actividades, resultados y ajustes necesarios.
7. **Monitoreo y mejora continua**: evaluar los resultados del mantenimiento preventivo y realizar ajustes basados en el impacto en los costos, la eficiencia y la duración del equipo.

2.4.3.3. VÍNCULO ENTRE EL MANTENIMINETO CORRECTIVO Y EL PREVENTIVO

El siguiente diagrama (Figura 2.9) exhibe la conexión entre estos dos tipos de mantenimiento.

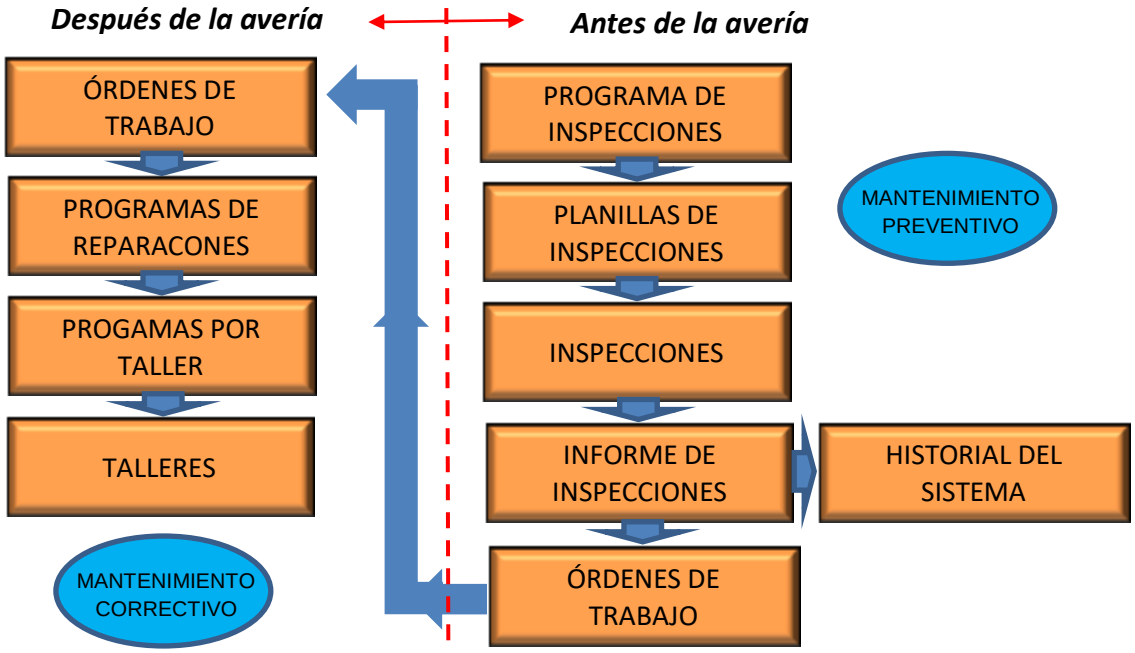


Figura 2.9. *Relación entre el Mantenimiento Correctivo y el Preventivo*

Este diagrama muestra las etapas que se ejecutan en estos dos modelos de Mantenimiento, ubicadas antes y después del fallo. El mantenimiento preventivo presenta una serie de pasos previos antes de emitir la Orden de Trabajo, punto donde comienza la tarea del mantenimiento correctivo.



El mantenimiento preventivo se constituye como un elemento esencial para la innovación y mejora del mantenimiento. Al aplicar las estrategias de mantenimiento sistemático y condicional, las organizaciones pueden optimizar sus procesos, aumentar la disponibilidad de los equipos y asegurar un entorno de trabajo más seguro. Aunque la implementación de un programa de mantenimiento preventivo presenta ciertos desafíos, los beneficios derivados justifican esta inversión inicial. Un enfoque bien diseñado y ejecutado puede transformar las operaciones industriales, contribuyendo a un entorno más eficiente y sostenible.

2.4.4. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El **mantenimiento predictivo** es un mantenimiento preventivo condicional con un enfoque proactivo, que utiliza técnicas avanzadas de monitoreo y análisis para evaluar el

estado operativo de los equipos y sistemas. Su objetivo principal es prever fallas antes de que ocurran, permitiendo planificar y realizar intervenciones de mantenimiento en el momento adecuado. Esto se traduce, en última instancia, en una gestión más eficiente de los recursos y una menor interrupción en la producción o servicio.

2.4.4.1. OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El principal objetivo del mantenimiento predictivo es reducir el tiempo de inactividad no programado de los equipos y optimizar los intervalos de mantenimiento. Al hacerlo, se busca:

- Prolongar la vida útil de los activos.
- Disminuir los costos operativos asociados a reparaciones emergentes.
- Mejorar la seguridad del personal y la integridad del equipo.
- Incrementar la eficiencia global de los procesos productivos.

La siguiente figura (Figura 2.10) presenta el campo de intervención del mantenimiento predictivo para una máquina, equipo o sistema, con relación al tiempo de ocurrencia de falla.



Figura 2.10. *Intervención del Mantenimiento Predictivo*

2.4.4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

La implementación de un programa de mantenimiento predictivo implica varias etapas clave:

1. **Evaluación inicial:** realizar un diagnóstico del estado actual de los equipos y procesos para identificar oportunidades de mejora.
2. **Selección de tecnología:** elegir las herramientas y tecnologías adecuadas para el monitoreo y análisis, según los equipos y el entorno industrial.
3. **Capacitación:** formar al personal en el uso de las tecnologías seleccionadas y en la interpretación de los datos generados.

4. **Desarrollo de un plan de monitoreo:** establecer un plan claro que defina qué equipos se monitorearán, con qué frecuencia y qué parámetros se analizarán.
5. **Implementación:** comenzar a recopilar datos y realizar análisis, ajustando el plan según sea necesario.
6. **Feedback y mejora continua:** establecer un sistema de retroalimentación para revisar y optimizar continuamente el programa de mantenimiento.

2.4.4.3. ENSAYOS UTILIZADOS EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Existen diversas técnicas y ensayos que se utilizan en el mantenimiento predictivo para llevar a cabo el monitoreo y la evaluación del estado de los equipos. Entre ellos se destacan:

- **Análisis de Aceite:**
  Este ensayo implica la recolección y análisis de muestras de aceite para detectar contaminantes, desgaste de componentes y degradación del lubricante. Los resultados ayudan a predecir fallas en motores y maquinaria, muy utilizado en el ARMP.
- **Termografía (análisis infrarrojo):**
  Utiliza cámaras termográficas para detectar puntos calientes en equipos eléctricos y mecánicos. Los cambios de temperatura pueden señalar problemas de aislamiento, sobrecargas o desgaste mecánico.
- **Análisis de vibración:**
  Implica la medición y análisis de las vibraciones generadas por las máquinas. Un aumento en la amplitud de las vibraciones puede indicar un desbalance, un desalineamiento o el deterioro de componentes.
- **Monitoreo de motores eléctricos y análisis de condiciones:**
  Consiste en evaluar parámetros como corriente, voltaje y temperatura de motores eléctricos. Un análisis exhaustivo permite detectar irregularidades que pueden causar fallas.
- **Alineado de precisión y dispositivos de balanceo:**
  Asegura que las máquinas estén alineadas correctamente, lo que evita desgastes prematuros y vibraciones excesivas. La alineación y balanceo precisos son esenciales para el buen funcionamiento de los equipos rotativos.
- **Monitores de tonelaje:**
  Se utilizan para medir la carga aplicada en máquinas. Un monitoreo constante permite identificar sobrecargas que podrían dañar los equipos.
- **Inspección mediante partículas magnéticas:**
  Se aplica a componentes ferromagnéticos para detectar fallas internas, como grietas y fisuras. Esta técnica es eficaz en la industria de manufactura y en el mantenimiento de estructuras.

- **Inspección por ultrasonido:**
  Utiliza ondas ultrasónicas para detectar fallas internas y externas en materiales. Es útil para el diagnóstico de sellos, fugas y fallas en rodamientos.
- **Inspección radiográfica:**
  Emplea radiación ionizante para revelar el estado interno de los componentes. Se utiliza para detectar defectos en soldaduras y estructuras de materiales.
- **Inspección mediante líquidos penetrantes:**
  Esta técnica consiste en aplicar un líquido que penetra en las irregularidades de la superficie de los materiales. Tras el tiempo de espera, se aplica un revelador que hace visible cualquier fisura o defecto.

El mantenimiento predictivo se presenta como una estrategia esencial para la innovación de la gestión moderna de activos industriales. Su capacidad para anticipar fallas y optimizar procesos lo convierte en una herramienta valiosa para mejorar la eficiencia operativa y reducir costos. Sin embargo, su implementación exitosa requiere una cuidadosa planificación, inversiones en tecnología y capacitación continua del personal. Con la adecuada adopción y uso de estas técnicas, se pueden lograr un significativo avance en el mantenimiento, garantizando la disponibilidad continua de instalaciones y equipos.



2.4.5. MANTENIMIENTO PROACTIVO

El **mantenimiento proactivo** es un enfoque de gestión de mantenimiento que busca prevenir fallos y averías a través de la identificación y eliminación de las causas raíz de problemas potenciales antes de que se materialicen.

Se puede decir que es un mantenimiento predictivo evolucionado, en donde se incorpora el análisis de causa raíz (Ver punto 3.2.3.2).

2.4.5.1. OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO PROACTIVO

El objetivo principal del mantenimiento proactivo es maximizar la eficiencia y la disponibilidad de los activos mediante la prevención de fallos y mantenimiento innecesario. Para lograr esto, se busca:

- **Identificar y eliminar las causas raíz** de fallos potenciales antes de que ocurran.
- **Reducir el tiempo de inactividad** programado y no programado de los equipos.
- **Aumentar la vida útil** de los activos mediante un cuidado adecuado y mantenimiento regular.

- **Optimizar los recursos** técnicos y humanos asignados al mantenimiento.

2.4.5.2. METODOLOGÍA PARA IMPLEMENTAR MANTENIMIENTO PROACTIVO

La implementación de un sistema de mantenimiento proactivo implica varias fases que permiten establecer un enfoque efectivo y sostenible:

- **Evaluación inicial:** realizar un diagnóstico del estado actual de los activos y procesos para identificar áreas de mejora y prioridades.
- **Recolección de datos:** establecer mecanismos para la recolección continua de datos sobre el rendimiento de los equipos, incluyendo señales de alerta temprana sobre posibles fallos.
- **Análisis de causas raíz:** utilizar técnicas como el Análisis de Causa Raíz (Ver Capítulo 3) para identificar los factores que contribuyen a las fallas y desarrollar estrategias para su eliminación.
- **Elaboración de planes de acción:** diseñar planes específicos que incluyan actividades de mantenimiento programado y acciones preventivas, junto con responsables y cronogramas.
- **Capacitación y cambio cultural:** capacitar al personal en la importancia del mantenimiento proactivo y promover una cultura de prevención y mejora continua.
- **Monitoreo y seguimiento:** implementar una fase de seguimiento para evaluar el éxito del programa, donde se revisen y ajusten los planes de acción según los resultados obtenidos.
- **Revisión continua:** establecer un proceso de revisión continua que permita actualizar las prácticas de mantenimiento proactivo en función de nuevas tecnologías, técnicas y aprendizajes obtenidos a lo largo del tiempo.



El mantenimiento proactivo representa una evolución significativa en la gestión del mantenimiento al centrarse en la prevención y la mejora continua. Su éxito radica en la capacidad de las organizaciones para adoptar una cultura de anticipación y aprendizaje, apoyada en sistemas de recolección y análisis de datos. Aunque la inversión inicial puede ser elevada y el cambio cultural representa un desafío, los beneficios a largo plazo hacen que la implementación del mantenimiento proactivo sea una estrategia valiosa para cualquier organismo que busque mejorar su operatividad y eficiencia. Con una planificada ejecución y monitoreo continuo, el mantenimiento proactivo puede transformar la gestión de activos y contribuir al éxito sostenible de una organización.

2.4.6. MANTENIMIENTO MODIFICATIVO

El mantenimiento modificativo se refiere a las acciones realizadas para alterar las características de instalaciones, máquinas o equipos con el objetivo de mejorar su fiabilidad y mantenibilidad.

Aunque las normas no lo mencionan explícitamente bajo este término, es tenido en cuenta por varios autores.

Se considera adecuado incluirlo en este trabajo, dado que en la Armada Argentina suele ser utilizado en ciertas ocasiones.

Estas prácticas facilitan la mejora continua y las adaptaciones necesarias para enfrentar nuevos desafíos y optimizar el rendimiento.

2.4.6.1. FASES DEL MANTENIMIENTO MODIFICATIVO

Este tipo de mantenimiento puede surgir en tres momentos clave de la vida útil de los componentes:

- **Instalación inicial:**
  Durante la fase de puesta en marcha, es posible que las instalaciones, sistemas o equipos estándar deban ajustarse a las necesidades particulares de una empresa. Este ajuste puede deberse a requisitos específicos del producto o a consideraciones de costos y mantenimiento. Un análisis de mantenimiento integrado durante el diseño inicial permite anticipar y mitigar problemas que, posteriormente, pueden ser difíciles de resolver.
- **Durante la vida útil:**
  A lo largo de la vida útil del equipo, el mantenimiento modificativo se centra en la identificación y eliminación de las causas que comúnmente provocan fallas operativas. Se fundamenta en un análisis profundo de las averías y busca erradicar defectos específicos, actuando así como una medida preventiva de mantenimiento.
- **Fase de obsolescencia:**
  Cuando una máquina comienza a mostrar signos de envejecimiento, el mantenimiento modificativo se orienta a su reconstrucción y mejora. El propósito es prolongar su vida útil, incorporando todas las actualizaciones necesarias para optimizar tanto la producción como el proceso de mantenimiento. Adicionalmente, se pueden llevar a cabo reformas parciales para maximizar el rendimiento de acuerdo a los requerimientos operativos, así como para facilitar reparaciones más rápidas.

Este mantenimiento presenta una sinergia directa con la confiabilidad de las máquinas: al implementar mejoras, se busca no solo hacer que el equipo sea más eficiente, sino también más adaptable a las operaciones que debe realizar.

Es fundamental que el mantenimiento modificativo sea regulado y personalizado para cada sector de una organización, permitiendo así identificar áreas de prioridad.



Aunque el mantenimiento modificativo puede ofrecer ventajas significativas en términos de eficiencia y adaptación a necesidades específicas, es crucial considerar los costos y el tiempo involucrado. La implementación exitosa de este tipo de mantenimiento depende de un análisis cuidadoso y una planificación adecuada para maximizar los beneficios y minimizar los inconvenientes.

2.4.7. MOMENTO DE INTERVENCIÓN SEGÚN EL TIPO DE MANTENIMIENTO

Se muestra en forma gráfica (Figura 2.11) el campo de intervención de los tipos de mantenimiento mencionados, según las horas de funcionamiento de un equipo o sistema.

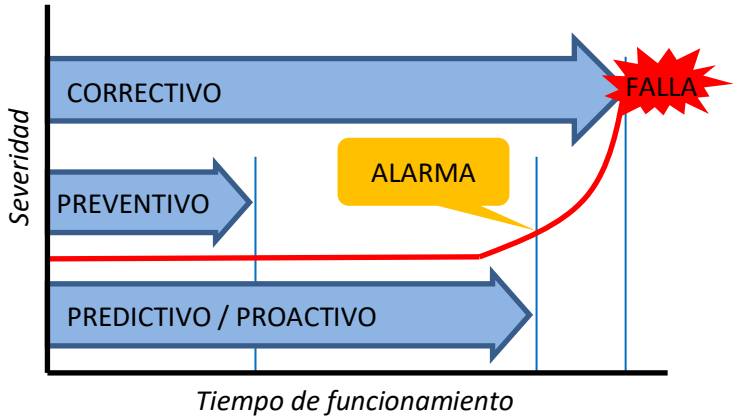


Figura 2.11. *Punto de intervención del MC, Preventivo y Predictivo*

En el diagrama anterior puede visualizarse el momento de intervención de tres modelos de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida de un equipo o sistema, antes y después de ocurrido el fallo.

2.4.8. IMPLEMENTAR vs. NO IMPLEMENTAR ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

Se presenta un cuadro comparativo (Tabla 2.4) de algunos ítems significativos entre la utilización y la ausencia de estrategias de mantenimiento.

Tabla 2.4. *Comparativa: Con y Sin Métodos de Mantenimiento*

	CON ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO	SIN ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO
DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS	Alta disponibilidad; reducción de fallas inesperadas	Baja disponibilidad; mayor riesgo de paradas no planificadas
COSTOS DE MANTENIMIENTO	Inversión controlada en mantenimiento preventivo	Altos costos por reparaciones emergentes
VIDA ÚTIL DEL EQUIPOS	Prolongación de la vida útil de los activos	Reducción de la vida útil; más desgaste y corrosión
PRODUCTIVIDAD	Aumento en la productividad y eficiencia operativa	Disminución en la productividad por caos operacional
SEGURIDAD	Mejora en la seguridad laboral y disminución de accidentes	Riesgos elevados de accidentes; falta de protocolos de seguridad
PLANIFICACIÓN DE RECURSOS	Planificación eficiente de recursos y tiempo	Dificultades en la planificación debido a fallas imprevistas
ESTADO ANÍMICO	Aumento de la moral y satisfacción del empleado	Estrés elevado y desmotivación entre los trabajadores
CUMPLIMIENTO NORMATIVO	Mejores prácticas que aseguran el cumplimiento regulatorio	Riesgo de incumplimiento legal y sanciones
DATOS Y ANÁLISIS	Datos recopilados para mejoras continuas	Falta de datos para análisis y optimización
CAPACITACIÓN DEL PERSONAL	Capacitación constante para mantener habilidades actualizadas	Bajo nivel de habilidades y preparación del personal

2.4.9. RESUMEN COMPARATIVO DE LOS TIPOS DE MANTENIMIENTO

El siguiente cuadro (Tabla 2.5) muestra en forma sencilla y compacta comparaciones de algunas de las características más significativas los distintos tipos de mantenimiento mencionados en este capítulo.

Tabla 2.5. *Comparativa de los tipos de Mantenimiento*

	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIÓN
NO MANTENIMIENTO	Falta de cualquier tipo de mantenimiento.	Costos iniciales bajos. Sencillez operativa.	Aumento del riesgo de fallos. Costos elevados a largo plazo por reparaciones.	Recursos escasos. Equipos de baja criticidad.
MANTENIMIENTO CORRECTIVO	Se realiza después de una falla o avería.	Respuesta rápida a fallos. No requiere planificación previa.	Puede causar tiempos de inactividad prolongados. Riesgo de daño adicional a equipos.	Equipos poco críticos o en caso de emergencia.
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Intervenciones programadas para prevenir fallos.	Reduce el riesgo de fallos. Mejora la vida útil del equipo.	Costos de programación y ejecución. Posibles intervenciones innecesarias.	Equipos críticos con historial de fallas.
MANTENIMIENTO PREDICTIVO	Monitoreo de condiciones para predecir fallos.	Minimiza tiempos de inactividad. Aumenta la eficiencia operativa.	Requiere inversiones en tecnología y formación. Puede ser complejo de implementar	Equipos donde se requiere alto rendimiento y disponibilidad.
MANTENIMIENTO PROACTIVO	Mejora continua y análisis para evitar fallos antes que ocurran.	Se enfoca en la mejora continua y la eficiencia. Reduce costos a largo plazo.	Es necesario un cambio cultural en la organización. Costos iniciales altos para implementación.	Entidad maduras en gestión de activos en busca optimizar todos sus procesos eliminando la causa raíz.
MANTENIMIENTO MODIFICATIVO	Modificación de características del equipo o sistema.	Mejora la eficiencia de una instalación. Aumenta el rendimiento de un equipo.	Alto nivel de complejidad. Requiere una elevada inversión.	Equipos con diseño no adecuado o que requieren nuevos requisitos operativos.

Comprender y aplicar las diversas tipologías de mantenimiento es fundamental. La aplicación inteligente de estos fundamentos es lo que permitirá a la Armada Argentina no solo preservar la operatividad de sus unidades, sino también impulsar una evolución constante en sus prácticas de mantenimiento. Esto se traduce directamente en una mayor disponibilidad de los medios, una optimización de las inversiones y, fundamentalmente, en el fortalecimiento de la capacidad operativa para cumplir con las misiones encomendadas. La innovación es el motor que transforma el conocimiento técnico en una ventaja estratégica tangible para la Institución.



CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE FALLAS Y ESTRATEGIAS PARA LA OPTIMIZACIÓN OPERACIONAL

En el dinámico entorno operativo, la capacidad de una organización para producir bienes o prestar servicios de manera continua, eficiente y segura es primordial. Si bien el mantenimiento juega un rol crucial en la preservación de la funcionalidad de los activos, el Análisis de Fallas emerge como una disciplina indispensable que va más allá de la simple reparación.

Este capítulo se adentra en el estudio sistemático de las fallas, no solo para corregirlas, sino, fundamentalmente, para comprender sus causas raíz y prevenir su recurrencia.

Manejar con destreza los métodos y herramientas de análisis de fallas presentadas en este capítulo permite transformar los contratiempos en oportunidades de aprendizaje y mejora continua. Otorga a las organizaciones la oportunidad de pasar de un enfoque reactivo a uno proactivo, optimizando recursos, mejorando la calidad, garantizando la seguridad y minimizando el impacto ambiental.

A continuación, se explorará las definiciones, clasificaciones, herramientas y metodologías que constituyen el campo del análisis de fallas. En el Anexo `A´ se presentarán ejemplos prácticos reales que ilustran la aplicación de estos métodos, con el fin de mejorar su comprensión. Es importante aclarar sobre los escenarios de ejemplo que no significa que los problemas originales no hayan sido resueltos eficazmente en su momento. La voluntad y capacidad del personal técnico del ARMP son ejemplares. El propósito de estos ejemplos es demostrar cómo la aplicación formal de los métodos de análisis de fallas aquí descriptos podría haber optimizado aún más dichas intervenciones, contribuyendo a alcanzar soluciones de manera más eficiente, minimizando potenciales retardos, optimizando la asignación de recursos al evitar trabajos innecesarios y enriqueciendo la documentación del proceso de reparación para el aprendizaje organizacional y la mejora continua.

Se evidenciará así el valor estratégico de estas técnicas para cualquier entidad que aspire a la excelencia operacional.

3.1. MARCO TEÓRICO DEL ANÁLISIS DE FALLAS

FALLA: el deterioro o desperfecto en las instalaciones, máquinas o equipos que no permite su normal funcionamiento.



3.1.1. DEFINICIÓN Y ALCANCE DE LAS FALLAS

Toda instalación destinada a producir un bien o un servicio, debe ser mantenida en condiciones que le permitan seguir en funcionamiento, logrando un producto de determinada calidad y a un costo lo más bajo posible. Quien se dedique al mantenimiento de cualquier tipo de instalación debe ofrecer la reparación de los desperfectos que surjan y las modificaciones necesarias para que estos no aparezcan.

Para lanzar un nuevo producto o servicio se hacen los estudios de mercado (clientes y sus preferencias) y también se estudia el proceso productivo más adecuado. El área de mantenimiento debe conocer las posibles averías que se pueden producir en las instalaciones, máquinas o equipos y estudiar los procesos para evitarlas o, si es necesario, repararlas.

La experiencia ha demostrado que no existen instalaciones, máquinas o equipos que estén libres de fallas a lo largo de su vida útil y que con una adecuada gestión de mantenimiento es posible reducir a un mínimo los perjuicios que ocasiona algún desperfecto.

En la industria se suele considerar como *avería o falla* a cualquier anomalía que impida mantener los niveles de producción. Pero el concepto es aún más amplio y debe tener en cuenta:

- la falta de calidad del producto o servicio.
- la falta de seguridad
- el mal aprovechamiento de la energía disponible
- la contaminación ambiental

Las instalaciones, máquinas o equipos son diseñados para alcanzar ciertos niveles de producción y también deben entregar un producto o servicio con una calidad esperada. Cualquier circunstancia que haga descender el nivel de calidad, ponga en riesgo la seguridad, o degrade el ambiente, debe ser considerada una avería.
Es responsabilidad de quien realice el mantenimiento de una instalación asegurar que esta cumpla con las normativas vigentes.

3.1.2. LA IMPORTANCIA DE ANALIZAR LAS FALLAS

No es efectivo conformarse con detectar una falla y repararla. Lo crucial es **descubrir el origen del desperfecto y prever que no se repita**. Esta es una tarea de aprendizaje continuo, donde se utiliza la experiencia propia y ajena para predecir y mitigar inconvenientes. La experiencia ha demostrado que, aunque no existen sistemas libres de fallas, una adecuada gestión de mantenimiento y un riguroso análisis de las mismas pueden reducir al mínimo sus perjuicios

3.1.3. CLASIFICACIÓN DE LAS FALLAS

Comprender los diferentes tipos de fallas ayuda a enfocar el análisis y las acciones correctivas.

Según el Impacto en la Actividad Productiva:

- **Fallas que afectan a la producción**: disminuyen la cantidad de producto o interrumpen el servicio.
- **Fallas que afectan a la calidad del producto**: el producto o servicio no cumple con los estándares esperados.
- **Fallas que comprometen la seguridad de las personas**: ponen en riesgo la integridad física del personal.
- **Fallas que degradan el ambiente**: generan contaminación o incumplimiento de normativas ambientales.

No es una rareza que una falla combine varios de estos impactos.

Según el Origen de las Fallas:

- **Mal diseño o error de cálculo (aprox. 12%)** (de la Rúa, 1997): deficiencias inherentes al diseño original, a menudo difíciles de revertir.
- **Defectos de fabricación (aprox. 10.45%):** problemas en materiales o procesos de manufactura de los componentes.
- **Mal uso de las instalaciones (aprox. 40%):** operación incorrecta o fuera de los parámetros de diseño, siendo la causa más frecuente.
- **Desgaste natural o envejecimiento (aprox. 10.45%):** deterioro progresivo debido al uso y al tiempo.

- **Fenómenos naturales y otras causas (aprox. 27%):** factores externos imprevistos.

Esta clasificación es importante desde el punto de vista de la producción, y sus porcentajes de ocurrencia pueden variar en cada organismo o empresa. Desde la perspectiva del mantenimiento, pueden ser interesantes otros tipos de clasificaciones. Una de esas clasificaciones son aquellas que se hacen:

- en función de la capacidad de trabajo de la instalación.
- en función de la forma de aparición de la falla.

En **función de la Capacidad de Trabajo** se encuentran averías ***Totales*** y ***Parciales***. Las fallas totales son aquellas que ponen fuera de servicio a todo el equipo y las parciales sólo a una parte de él, dependiendo de la aparición de una u otra, de la organización de la producción y del grado de complejidad de la instalación.
Por ejemplo, cuando en un motor encendido por chispa se avería la bobina encargada de entregar la tensión que alimenta a la bujía se presenta una falla total, porque el motor no puede seguir funcionando y es imprescindible reemplazar el elemento para que el sistema pueda seguir operando. Si la falla fuera sólo en una bujía, el motor podría seguir entregando energía, aunque no con la potencia normal, porque los otros cilindros que funcionan en paralelo, siguen en marcha. En este caso se observa una falla parcial.

Según la Forma en que Aparece el Problema se pueden encontrar fallas ***Repentinas*** y fallas **P*rogresivas***.

Las **repentinas** aparecen sin mostrar un evento que pudiera anunciar la aparición de una falla. Están asociadas a roturas de piezas o componentes de la instalación antes de lo previsto o a una suma de circunstancias que no se pueden predecir.

Las **progresivas** tienen generalmente su origen en el desgaste paulatino de algún elemento, en la abrasión, en la falta de ajuste, etc. Este tipo de falla da muchas señales antes de producirse, avisan la proximidad de una avería, y con un seguimiento se puede determinar con exactitud el momento en que se producirá el desperfecto.

Siguiendo con el ejemplo del motor de combustión interna, una falla repentina seria la rotura de la tapa del distribuidor y una falla progresiva cuando se desgasta el platino. Esta es una falla que se puede detectar mucho antes de que se produzca inspeccionando el

desgaste que presenta el platino. Además se puede estimar la duración del elemento y programar su recambio antes de que su estado pueda ocasionar algún inconveniente.

Estas dos últimas clasificaciones pueden combinarse en un diagrama de cuatro cuadrantes (Tabla 3.1) para evaluar la criticidad y urgencia:

Tabla 3.1. *Clasificación de las Fallas por Capacidad y Aparición*

		Capacidad de trabajo	
		Parcial	**Total**
Forma de aparición	**Progresiva**	I	II
	Repentina	III	IV

En cuadrante I se encuentran aquellas fallas que aparecen progresivamente y que no afectan a la línea de producción completa. En principio este tipo de avería es la más leve, porque con un seguimiento se puede detectar y corregir el problema antes de que se extienda a otros sectores de la instalación. Por las características del desperfecto se cuenta con un cierto tiempo para encontrar la solución, pero este tiempo no se debe extender mucho porque las consecuencias pueden ser cada vez peores.

En el segundo cuadrante (II) se colocan las fallas que, si bien son progresivas, afectan a la instalación entera. Son más serias que las anteriores y requieren un tratamiento más urgente. En los cuadrantes siguientes (III y IV) va creciendo el grado de dificultad para detectar y remediar el desperfecto, como así también la urgencia con que debe ser abordado y solucionado el problema.

Existen otros tipos de clasificación de fallas que suelen ser muy útiles, como por ejemplo:

- **Según su Origen Técnico** → eléctrica, mecánica, neumática, instrumental, electrónica, hidráulica, etc.

- **Provenientes de Otro Fallo** → dependientes o independientes.
- **Según su Tiempo de Duración** → continua, intermitente o errática.

3.2. HERRAMIENTAS Y MÉTODOS DE ANÁLISIS DE FALLAS

Identificar y analizar las fallas es un tema fundamental. Se han desarrollado numerosas técnicas, muchas de ellas gráficas por su facilidad de uso y funcionalidad, aplicables no solo en mantenimiento sino en mejora continua, calidad, diseño, etc. Antes de investigar un problema, es fundamental asegurarse de que se lo comprende perfectamente. Esto supone definir los síntomas del problema y comprender el proceso que lo provoca, así se evita desperdiciar esfuerzos innecesariamente.



Cuando se comprende y define un problema, se ha avanzado un 50% en su resolución.

3.2.1. HERRAMIENTAS DE RECOPILACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE DATOS

3.2.1.1. PLANILLAS DE INSPECCIÓN

Las planillas de inspección son una herramienta estadística que se utiliza para monitorear y controlar procesos. Estas planillas pueden ser utilizadas para monitorear la frecuencia de fallas, el tiempo de inactividad y otros parámetros relevantes.

Esta herramienta es utilizada por el personal de a bordo de los buques de la Armada Argentina, aunque en ocasiones se realiza en forma automática, desconociendo la importancia y el potencial que se obtiene al registrar datos precisos para su análisis.

3.2.1.1.1. FORMA DE APLICACIÓN DE LAS PLANILLAS DE INSPECCIÓN

1. **Activos:** determinar el equipo o sistema que se quiere analizar.
2. **Definir parámetros:** se deben definir los parámetros que se van a monitorear, como la frecuencia de fallas, el tiempo de funcionamiento o de inactividad.
3. **Establecer límites:** consensuar rangos aceptables.

4. **Recopilar datos:** recopilación de datos sobre los parámetros definidos.
5. **Graficar datos:** representar los datos en una planilla de control.
6. **Analizar resultados:** determinar si el proceso está bajo control.



Las planillas de control son una herramienta estadística efectiva para monitorear y controlar procesos. Al definir parámetros, establecer límites, recopilar datos, graficar datos y analizar resultados, las organizaciones pueden identificar áreas de mejora, optimizar procesos y observar cual es la tendencia y la dispersión de los mismos. Es muy importante considerar la necesidad de datos precisos y el tiempo demandado.
Estas planillas pueden ser el primer escalón para la aplicación de varios métodos de análisis de fallas.

3.2.1.2. HISTOGRAMAS

Los histogramas son un tipo de gráfico de barras que representa la distribución de un conjunto de datos numéricos. En mantenimiento, se utiliza para visualizar y analizar la frecuencia de ocurrencia de fallas, tiempos entre fallas, o cualquier variable relevante. Los datos se agrupan en intervalos o “bins” y se muestran las frecuencias con las que ocurren dentro de cada intervalo, lo que permite identificar patrones, tendencias o variaciones en el proceso de mantenimiento.

3.2.1.2.1. FORMA DE APLICACIÓN DEL HISTOGRAMA

Para aplicar esta herramienta se deben efectuar los siguientes pasos:

1. **Definir el rango de datos:** datos que se van a analizar.
2. **Establecer la clase de intervalos:** intervalos para los datos.
3. **Recolección de datos:** se recopilan datos relevantes, como tiempos entre fallas, duración de reparaciones, frecuencia de tipos de fallas, o cualquier variable que se quiera analizar.
4. **Organización de datos:** los datos se ordenan y se dividen en intervalos (o “bins”) adecuados para representar rangos significativos. Por ejemplo, si se analizan tiempos de puesta en marcha de algún sistema en minutos, se pueden crear intervalos de 0-10 min, 11-20 min, etc.
5. **Construcción del histograma:** se cuentan las frecuencias con las que los valores caen dentro de cada intervalo. Después, se crea un gráfico de barras donde el eje horizontal muestra los intervalos y el vertical las frecuencias.

6. **Análisis e interpretación:** se observa la forma del histograma para identificar patrones, como concentraciones de fallas en ciertos rangos o variaciones en los tiempos de reparación. Esto puede apuntar a puntos críticos que requieren innovación o mejora.
7. **Toma de decisiones:** con base en la información, el equipo de mantenimiento puede diseñar acciones específicas, por ejemplo, ajustar procedimientos, cambiar repuestos o implementar tecnologías que reduzcan el tiempo de inactividad



Los histogramas son herramientas valiosas en la innovación del mantenimiento, pues permiten visualizar y analizar datos de manera sencilla para identificar patrones y guiar mejoras en los procesos. Aunque tienen limitaciones, como la pérdida de detalles específicos y la necesidad de un adecuado manejo de los intervalos, su uso adecuado contribuye a una mejor comprensión de los comportamientos operativos y posibilita decisiones informadas para implementar la optimización del mantenimiento.

3.2.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS POR PRIORIDAD DE REPARACIÓN

Esta sección presenta metodologías que ayudan no solo a analizar las fallas sino también a determinar el orden de importancia o la urgencia con la que deben abordarse los problemas o sus soluciones.

3.2.2.1. ANÁLISIS DE PRIORIDAD DE REPARACIÓN DE FALLA

El Análisis de Prioridad de Reparación (APR) es una metodología que permite determinar la urgencia y el orden en el que deben corregirse fallas o realizarse reparaciones en equipos o procesos industriales. Fue desarrollado en el campo del mantenimiento industrial en la década de 1970 para optimizar la asignación de recursos a las reparaciones de equipos, tratando de minimizar costos y tiempos de parada.

Su objetivo es optimizar los recursos de mantenimiento, minimizar el impacto en la producción y garantizar condiciones seguras y ambientalmente responsables.
Para lograr una evaluación integral, el APR considera diversas variables que reflejan el impacto multidimensional de las fallas o reparaciones pendientes.

Este análisis conviene realizarlo según los siguientes factores:

- **Producción:** influencia directa en la cantidad y continuidad de la producción.
- **Calidad:** impacto en la conformidad y estándares del servicio o producto final.
- **Mantenimiento:** costos y dificultad de la reparación necesaria.
- **Medio ambiente:** riesgo o daño ambiental asociado con la falla.
- **Seguridad:** peligros para la integridad física de las personas.

Estas variables no siempre tienen igual importancia, por eso se asigna a cada una un peso (W) que representa su relevancia relativa y varía según el contexto de la organización. Esta ponderación del peso puede establecerse, por ejemplo, entre 0 y 1. Luego, para cada componente se califica la criticidad de la falla en cada variable con un puntaje o ponderación (V) de 1 a 5. La prioridad final (P) se calcula con esta fórmula:

$$P = W_{prod} \times V_{prod} + W_{cal} \times V_{cal} + W_{mant} \times V_{mant} + W_{ambi} \times V_{ambi} + W_{seg} \times V_{seg}$$

Esta ponderación será importante para diseñar el sistema de mantenimiento y la planificación, las prioridades en los mantenimientos preventivos y los stocks de repuestos.

3.2.2.1.1. NIVELES DE PRIORIDADES DE REPARACION

El ámbito de la gestión del mantenimiento, la determinación de prioridades es fundamental para garantizar una operación eficiente y segura. En términos técnicos, la prioridad se define como "*el intervalo de tiempo que debe transcurrir entre la detección de la necesidad de mantenimiento y el inicio de la actividad correspondiente*". Para clasificar de manera efectiva estas necesidades, diversas organizaciones han adoptado sistemas de categorización que se adaptan a sus requerimientos operativos específicos.

En este sentido, se han tomado como referencia las propuestas de varias empresas estadounidenses, las cuales establecen un sistema de cinco niveles (Tabla 3.2) de prioridad que se describen a continuación:

Tabla 3.2. *Niveles de Prioridad de Intervención*

Prioridad 1 - EMERGENCIA Esta categoría representa el mantenimiento que debe llevarse a cabo de manera inmediata tras la detección de una necesidad crítica. Las intervenciones en este nivel son esenciales para evitar daños mayores en los equipos, así como para garantizar la seguridad del personal que opera en el área.	**Prioridad 2 - URGENCIA** Engloba el mantenimiento que debe realizarse lo más pronto posible, idealmente dentro de las24 horas posteriores a su identificación. La atención oportuna en este nivel es vital para prevenir interrupciones significativas en la producción y mantener la eficiencia operativa.
Prioridad 3 - NECESARIA Este nivel se refiere al mantenimiento que puede diferirse durante un plazo de unos días, aunque su ejecución no debe exceder una semana. Esta flexibilidad permite una mejor gestión de los recursos, asegurando que se den las atenciones necesarias cuando sea más conveniente.	**Prioridad 4 - DESEABLE** Corresponde al mantenimiento que puede aplazarse durante varias semanas (preferiblemente de 4 a 5), pero cuya ejecución es recomendable para asegurar la continuidad operativa y prevenir problemas futuros.
Prioridad 5 - PRORROGABLE Este nivel incluye aquellos servicios de mantenimiento que pueden ser postergados sin que ello afecte gravemente la operación. Este tipo de mantenimiento se ejecutará únicamente cuando haya disponibilidad del personal técnico, lo que permite optimizar la utilización de los recursos humanos.	

La implementación de esta tabla de prioridades es adaptable y no uniforme. Cada entidad tiene la prerrogativa de definir sus niveles y la terminología asociada de acuerdo con su contexto.

La concreción y adecuada clasificación de los niveles de prioridad no solo permiten una gestión más eficaz y eficiente de los recursos, sino que también reducen los tiempos de inactividad y minimizan el riesgo de accidentes. Una implementación sistemática y coherente de estos niveles de prioridad asegura que las necesidades de mantenimiento se aborden de manera efectiva y se alineen con los objetivos estratégicos de la organización.

Esto, a su vez, resulta en una mayor seguridad, productividad y sostenibilidad dentro del entorno operativo.

El análisis de prioridad de reparación es una herramienta valiosa para decisiones estratégicas en mantenimiento. El uso de variables multidimensionales permite evaluar el impacto global de las fallas, priorizando aquellas que puedan afectar seriamente la producción, calidad, seguridad o el entorno. La incorporación de pesos permite adaptar el método a las prioridades específicas de cada organismo.



3.2.2.2. METODO GUT (GRAVEDAD - URGENCIA - TENDENCIA)

El método GUT o **Matriz GUT** es una herramienta de priorización que evalúa los problemas según tres dimensiones críticas: **Gravedad**, **Urgencia** y **Tendencia**. Esta matriz permite a los equipos evaluar sistemáticamente la importancia de los problemas, garantizando que los recursos se asignen donde tengan el mayor impacto.

Esta herramienta es especialmente útil en entornos complejos donde múltiples problemas requieren atención simultánea.

La Matriz GUT fue desarrollada en los años 80 (Kepner & Tregoe. 1981), con el fin de analizar las demandas para comprender su grado de importancia y, en consecuencia, el orden de ejecución.

En la figura 3.1 se definen los parámetros de esta matriz.



Figura 3.1. *Parámetros de la Matriz GUT*

3.2.2.2.1. IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO GUT

El método GUT se articula a través de una hoja de evaluación estructurada, en la cual se disponen los ítems a analizar en columnas, organizados por las letras G, U y T, que representan los criterios de Grado, Urgencia y Tendencia, respectivamente. En las filas de esta planilla se ubican los evaluadores, que típicamente incluyen personal de operación,

mantenimiento y seguridad industrial, garantizando una perspectiva multidisciplinaria en el análisis.

En este procedimiento, cada evaluador otorga una calificación que oscila entre 1 y 5 para cada aspecto relacionado con los ítems en cuestión. Los puntajes asignados se multiplican y el resultado obtenido se registra en una columna adicional denominada GUT para cada ítem evaluado. Esta columna acumula los productos de las evaluaciones y la suma de los valores de GUT de todos los ítems permite establecer una jerarquía clara en la atención que debe ser prestada a cada uno, priorizando así los problemas que requieren una intervención inmediata. Este enfoque sistemático no solo facilita la identificación de áreas críticas, sino que también promueve una asignación más eficiente de recursos en la gestión de problemas operativos.

El hecho de calificar del 1 al 5 pueda parecer un poco subjetivo. Por lo tanto, se sugiere ponderaciones asociadas a cada puntaje (Tabla 3.3):

Tabla 3.3. *Ponderaciones de la Matriz GUT*

PUNTOS	GRAVEDAD Cuáles son los efectos?	URGENCIA Cuando hay que actuar?	TENDENCIA Como empeorará el problema?
5	extremadamente grave	necesita acción inmediata	empeorará rápidamente
4	muy grave	es urgente	en poco tiempo
3	serio	lo antes posible	a mediano plazo
2	no muy grave	no muy urgente	a largo plazo
1	sin gravedad	puede esperar	estará estable

El método GUT es una herramienta práctica para priorizar problemas y fallas en entornos complejos. Su enfoque sistemático y estructurado permite tomar decisiones informadas y asignar recursos de manera efectiva. Sin embargo, es importante considerar las limitaciones del método y adaptarlo a las necesidades específicas de cada situación.



3.2.2.3. EL DIAGRAMA DE PARETO

El diagrama de Pareto es una herramienta que obliga a reflexionar y centrarse en lo que traerá mayores resultados. Su aplicación a la gestión de la calidad fue popularizada por Joseph M. Juran, basándose en la observación del economista Pareto (Juran, 1992). La regla, debe su nombre a Vilfredo Pareto (1848-1923), economista y sociólogo italiano, quien descubrió una relación desigual al analizar la distribución de la propiedad en Italia. Así, concluyó que el 80 % de la propiedad del país correspondía tan solo al 20 % de la población, patrón que se sostuvo en otros estudios que se realizaron. La relación, que también se denomina regla del 80/20, es sencilla de aplicar. La clave de su eficacia en el ámbito laboral consiste en identificar el 20 por ciento de las actividades que resultan más importantes y que producen los mayores resultados. Aunque a esta ley se la llame «regla del 80/20», no significa que todo siga ese mismo patrón. La desproporción puede rondar en 90/10 o 70/30.

Frecuentemente el personal técnico de mantenimiento y producción debe enfrentase a problemas que tienen varias causas o son la suma de varios problemas. El Diagrama de Pareto permite seleccionar por orden de importancia y magnitud, las causas o problemas que se deben investigar hasta llegar a conclusiones que permitan eliminarlos de raíz.

El principio de Pareto dice que la mayoría de los problemas son producidos por un número pequeño de causas, y estas son las que interesan descubrir y eliminar para lograr un gran efecto de mejora. A estas pocas causas, que son las responsables de la mayor parte del problema, se las conoce como causas *vitales*. Las causas que no aportan en magnitud o en valor al problema, se las conoce como causas *triviales*.

Las causas triviales, aunque no aporten un valor a la mejora, no significa que se deban dejar de lado o descuidarlas. Se trata de ir eliminando en forma progresiva las causas vitales. Una vez eliminadas éstas, es posible que las causas triviales se lleguen a transformar en vitales.

El Diagrama de Pareto es un instrumento que permite graficar por orden de importancia, el grado de contribución de las causas que estamos analizando o el conjunto de problemas que queremos estudiar. Se trata de clasificar los problemas y/o causas en

vitales y triviales. Una vez solucionados los problemas, el diagrama de Pareto puede cambiar (ver Figura 3.2).

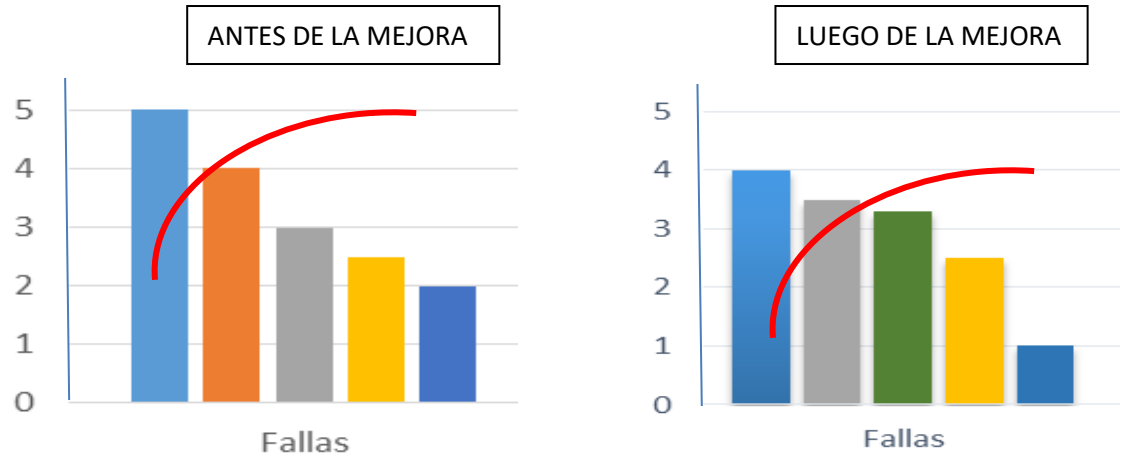


Figura 3.2. *Diagramas de Pareto Antes y Después de Tratar los Problemas*



El Diagrama de Pareto es una herramienta indispensable para la innovación en el mantenimiento, pues permite identificar y priorizar las causas principales que afectan la eficiencia y confiabilidad de los equipos. Al enfocar los esfuerzos en el pequeño grupo de problemas más significativos, las organizaciones pueden implementar soluciones innovadoras con mayor impacto y optimizar recursos. Sin embargo, su efectividad depende de la calidad de los datos y debe complementarse con análisis profundos para descubrir causas raíz.

3.2.2.3.1. MÉTODO DE IMPLEMENTACIÓN DEL DIAGRAMA DE PARETO

Para la elaboración del Diagrama de Pareto debe seguirse los pasos indicados en el siguiente gráfico (Figura 3.3):

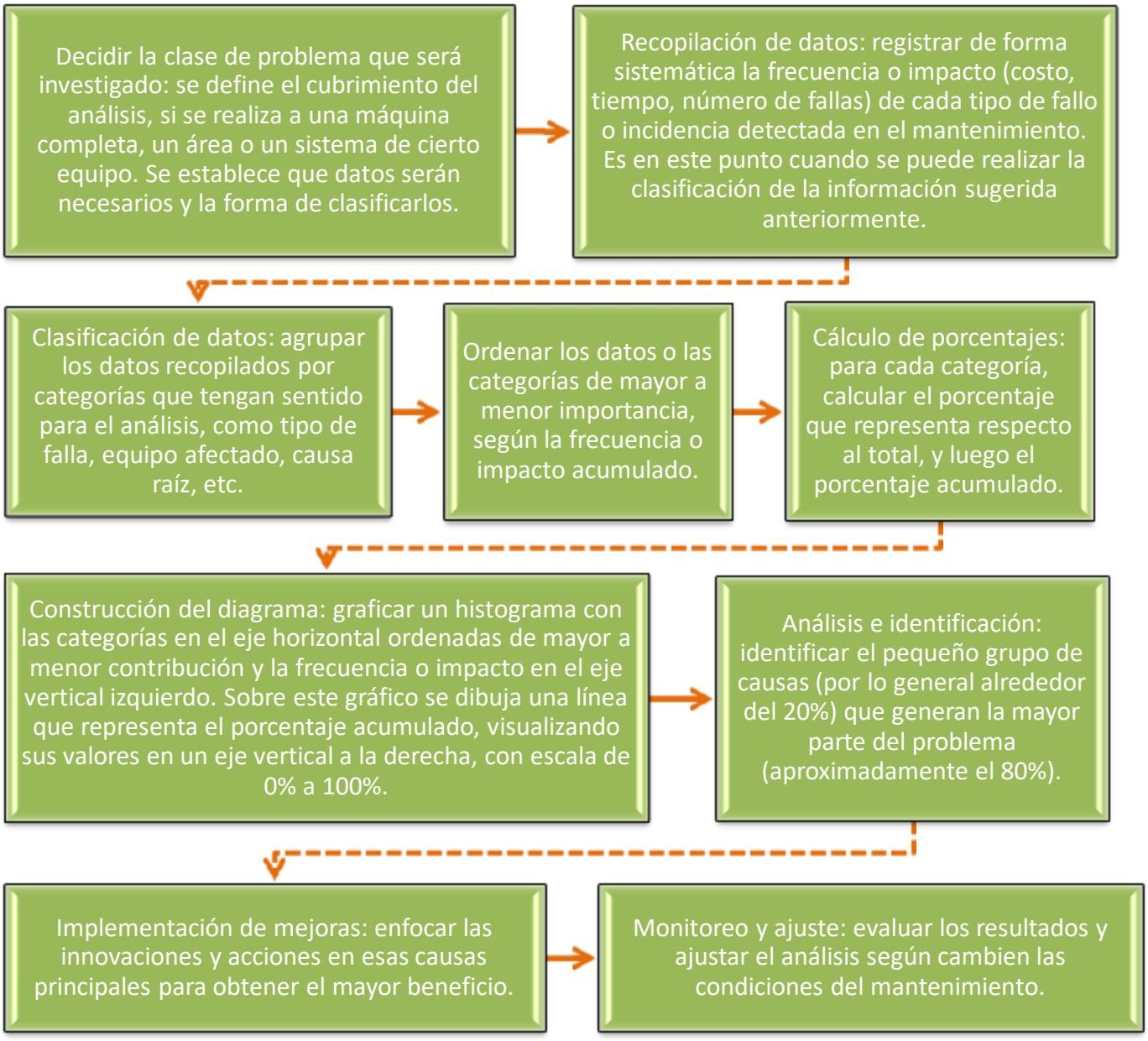


Figura 3.3. *Confección del Diagrama de Pareto*

En todo análisis de problemas utilizando este método, se debe tener en cuenta las siguientes sugerencias:

- Toda persona involucrada deberá colaborar activamente.
- Concentrarse en la variable que mayor impacto produzca en la mejora.
- Establecer una meta para la mejora.

Con la cooperación de todos se obtendrán excelentes resultados. Uno de los objetivos de éste método es el de mostrar a todo el personal las áreas prioritarias en que se deben concentrar todas las actividades y el esfuerzo del equipo.

El Diagrama de Pareto presenta claramente la magnitud relativa de los problemas y suministra a los técnicos una base de conocimiento común sobre la cual trabajar. Una sola mirada basta para detectar cuáles son las barras del diagrama que componen el mayor porcentaje de los problemas.

La experiencia demuestra que es más fácil reducir una barra alta a la mitad que reducir una barra de poca altura a cero.

3.2.3. MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN DE CAUSAS

3.2.3.1. TORMENTA DE IDEAS (BRAINSTORMING)

El método tormenta de ideas (o Brainstorming, en inglés), también conocido como lluvia de ideas, es una técnica grupal diseñada para fomentar la generación espontánea y creativa de ideas en torno a un problema o tema específico. Esta metodología promueve un ambiente colaborativo donde se incentiva la participación activa de todos los integrantes, con el objetivo de maximizar el potencial creativo del grupo.

El brainstorming fue desarrollado en 1939 por Alex Faickney Osborn, quien observó que un proceso interactivo y menos estructurado entre varias personas puede producir una mayor cantidad y calidad de ideas que el trabajo individual. Esta técnica fue formalizada en su libro *`Applied Imagination´* (1953).

El método se basa en la premisa de que la expresión libre y sin críticas iniciales de las propuestas permite aprovechar al máximo las capacidades creativas de cada participante.

En la práctica, el brainstorming se lleva a cabo mediante reuniones grupales en las que cada miembro aporta ideas relacionadas con un tema determinado, generando así un amplio conjunto de posibles soluciones o enfoques que pueden ser evaluados y desarrollados posteriormente.

3.2.3.1.1. REGLAS DEL BRAINSTORMING

El método *brainstorming* se fundamenta en cuatro pilares esenciales que garantizan su efectividad para la generación de ideas innovadoras. Estos son:



Suspender el juicio

Durante la fase inicial de generación de ideas, se prohíbe cualquier tipo de crítica o evaluación. Todas las ideas, sin importar cuán inusuales o poco prácticas parezcan, deben ser registradas sin juicio alguno. Esta suspensión del análisis inmediato es crucial, ya que permite la libre expresión creativa y evita que las ideas potencialmente valiosas sean descartadas prematuramente. Combinar la creación y la evaluación simultáneamente puede limitar seriamente la cantidad y calidad de las propuestas generadas.

Fomentar la libertad de pensamiento

Se alienta a los participantes a compartir ideas "locas" o aparentemente imposibles. De hecho, estas propuestas pueden romper con los límites del pensamiento convencional y abrir el camino a soluciones novedosas y originales. La creatividad prospera cuando se permite pensar sin restricciones, pues incluso las ideas más disparatadas pueden convertirse en la base para desarrollos prácticos y efectivos.

Priorizar la cantidad de ideas

El objetivo inicial es generar la mayor cantidad posible de ideas antes de su evaluación. Esta estrategia se basa en que las primeras ideas suelen ser las más evidentes o convencionales. Una mayor cantidad aumenta la probabilidad de encontrar alternativas realmente innovadoras. En varias sesiones se establecen metas específicas, por ejemplo, alcanzar entre 50 y 100 ideas, para fomentar una lluvia de ideas abundantemente diversa que luego pueda ser filtrada y refinada.

Potenciar el efecto multiplicador

Más allá de aportar ideas individuales, es fundamental que los participantes combinen, mejoren y adapten las propuestas de los demás. La colaboración activa y la retroalimentación permiten transformar ideas iniciales en soluciones más robustas y aplicables. Pequeños cambios o mezclas de conceptos pueden convertir algo aparentemente inviable en una alternativa viable y valiosa.



La regla principal del brainstorming es postergar cualquier juicio crítico para asegurar que todas las ideas tengan lugar y puedan estimular la creación de nuevas propuestas. Esta dinámica busca la cantidad y originalidad en la etapa inicial, posponiendo el análisis cualitativo para etapas posteriores. Cada participante puede contribuir libremente, siempre centrándose en un tema específico, durante un tiempo determinado. La claridad en la exposición de cada idea, así como la anotación de palabras o frases relacionadas, ayuda a mantener el enfoque y la organización del proceso creativo.

3.2.3.1.2. FORMA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA TOMENTA DE IDEAS

Para la aplicación del presente método se debe seguir los siguientes pasos:

1. **Formación del equipo:** se convoca a un grupo diverso con conocimiento del proceso o área afectada.
2. **Definición del problema:** se explica claramente el problema o falla que se analiza para asegurar un entendimiento común.
3. **Generación libre de ideas:** el facilitador invita a los participantes a proponer todas las posibles causas o soluciones sin críticas ni limitaciones, promoviendo la creatividad.
4. **Registro de ideas:** todas las aportaciones se anotan y se visualizan para el grupo, motivando la participación activa.
5. **Evaluación y selección:** posteriormente, se analizan y agrupan las ideas para identificar las causas más probables o las soluciones más viables.
6. **Planificación de acciones:** se definen responsabilidades y medios para implementar las soluciones seleccionadas.



El brainstorming puede ser utilizado en diversos contextos, como la creación de nuevos productos, la resolución de problemas, la mejora de procesos, la planificación de estrategias, entre otros. Es una técnica que se adapta bien a la colaboración en equipo, ya que la interacción entre los participantes puede generar ideas innovadoras que no serían posibles si se trabajara de forma individual. puede llevarse de manera simple, así como de manera muy profesional apoyado de un equipo para encontrar, generar y plasmar ideas concretas ya sea desde un simple papel, pizarra, o bien desde un software enfocado a ello.

3.2.3.2. ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ (ACR)

El **Análisis de Causa Raíz** (RCA, por sus siglas en inglés *Root Cause Analysis*) es un proceso estructurado y sistemático que busca identificar las causas fundamentales de un problema o incidente. Este método se enfoca en descubrir el origen real del inconveniente, con el fin de implementar acciones correctivas efectivas que solucionen el problema de manera definitiva, en lugar de limitarse a mitigar sus síntomas.

El propósito principal del análisis es no solo resolver el problema inmediato, sino prevenir su recurrencia, promoviendo una mejora continua en la confiabilidad y eficiencia de los equipos y sistemas.

Se originó en la década de 1950, como una herramienta para identificar la causa raíz de los problemas en la industria manufacturera. Posteriormente, se extendió a otras industrias y se convirtió en una herramienta fundamental para la resolución de problemas.

3.2.3.2.1. ETAPAS PARA LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

1. **Definir el problema:** se debe identificar y definir el problema que desea abordar. Sin un problema claramente definido, es imposible identificar correctamente las causas raíz.
2. **Formación del equipo:** debe ser multidisciplinario y estará a cargo de ordenar y analizar los datos de falla a recopilar.
3. **Recopilar datos:** recopilación de todos los datos relevantes sobre el problema. Esto puede incluir la recopilación de fotografías e informes de incidentes, la realización de entrevistas con partes afectadas y la revisión de políticas y procedimientos existentes.
4. **Analizar los datos:** se realiza el "*árbol de falla*" (Figura 3.4), método que obliga al equipo multidisciplinario a trabajar en reversa, desde la falla hasta las causas, obteniendo una lista de posibles causas potenciales originarias del problema.
5. **Exponer los resultados y efectuar recomendaciones:** una vez que el equipo determina las causas fundamentales y ha expuesto todos los detalles del problema, debe ofrecer soluciones que actúen directamente sobre la causa raíz para corregir el problema.
6. **Proponer cambios:** crear un plan de innovación para que la falla no vuelva a ocurrir.

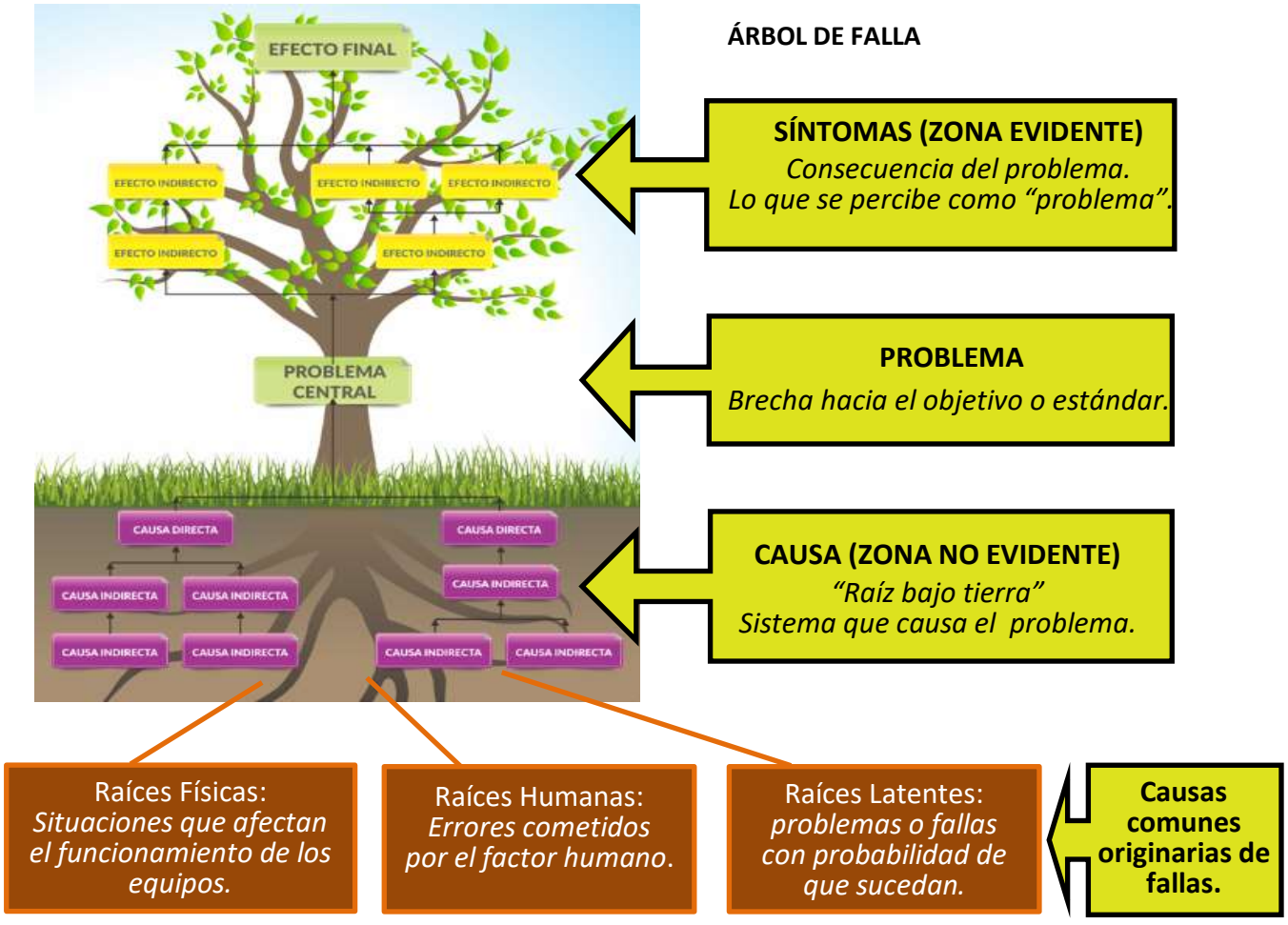


Figura 3.4. *Arquitectura del Árbol de Fallas*

La Figura 3.4 refleja como el problema y el efecto que ocasiona el mismo puede provenir de causas ocultas, no visibles (*raíces*), que no se manifiestan de forma natural.

El análisis de la causa raíz es una técnica de resolución de problemas desde su foco de origen, que ayuda a las organizaciones y a las personas a entender por qué las cosas van mal. Puede ayudar a identificar posibles soluciones y evitar que se produzcan problemas similares en el futuro.



3.2.3.3. DIAGRAMA DE ISHIKAWA

También conocido como *Diagrama de Espina de Pescado* o *Diagrama Causa-Efecto* (Figura 3.5), fue desarrollado por el ingeniero japonés Kaoru Ishikawa en los años 60 para facilitar la identificación estructurada de causas de problemas en la industria manufacturera. Ishikawa popularizó y detalló esta herramienta en su obra de referencia, *Guide to Quality Control* (1982). Es un método gráfico que refleja la relación entre una característica de calidad y los factores que posiblemente contribuyen a que exista. Sirve para que se conozca en profundidad el proceso con que trabaja, visualizando con claridad las relaciones entre los problemas y sus causas raíces. También es utilizado para guiar las discusiones, al exponer con claridad los orígenes de un problema y permitir encontrar más rápidamente sus causas.

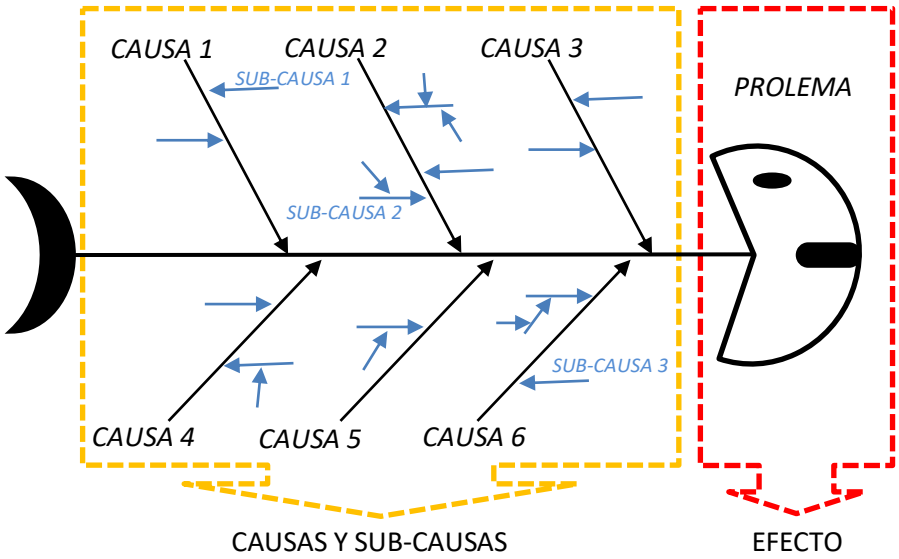


Figura 3.5. *Diagrama de Ishikawa*

3.2.3.3.1. FORMA DE APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE ISHIKAWA

1. **Definir el problema:** se debe definir claramente el problema o efecto negativo a analizar y se escribe en el lado derecho del diagrama (cabeza del pescado).
2. **Identificar las causas:** se deben identificar las causas potenciales del problema y se van escribiendo en las "espinas" del diagrama, por categorías.
3. **Lluvia de causas:** en sesiones grupales, se recopilan todas las posibles causas y sub-causas del problema asociadas a cada categoría y se sigue formando las espinas del pescado (usualmente utilizando el *brainstorming*).
4. **Crear el diagrama:** seleccionadas las causas principales y sub-causas del problema, se termina de formar el diagrama de Ishikawa y se analizan las causas potenciales.
5. **Desarrollo de acciones correctivas:** finalmente, se planifican y ejecutan las acciones para eliminar o controlar las causas detectadas.



El diagrama de Ishikawa es una herramienta valiosa para la resolución de problemas, que permite identificar las causas raíz, analizar un problema de manera más completa y tomar decisiones informadas para encontrar soluciones efectivas.

3.2.3.4. MÉTODO DE LAS 5 EMES (5M)

Este método es una variante del diagrama de Ishikawa donde las causas principales ya están preestablecidas (Figura 3.6). Se utilizan cinco causas que, en inglés, comienzan con la letra ´M´:



Figura 3.6. *Variables de las 5M*

El diagrama de Ishikawa utilizando el método de las 5M (Figura 3.7) se vería de la siguiente forma:

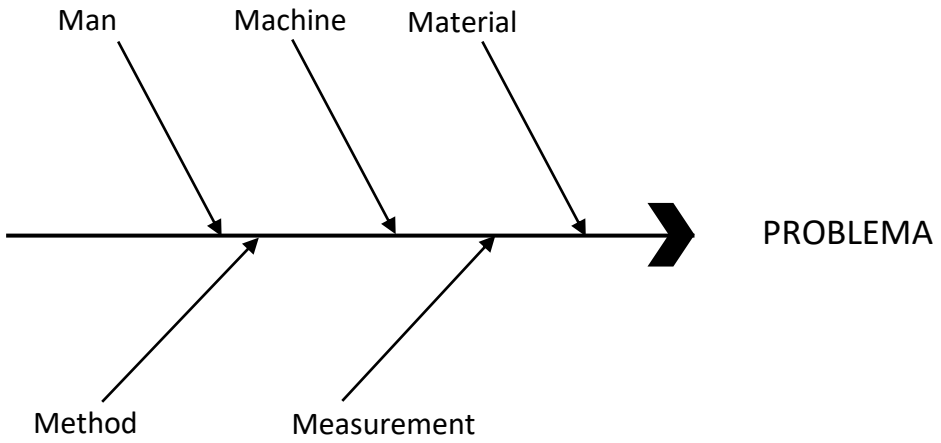


Figura 3.7. *Diagrama de las 5M*

Es común ver este método en el idioma español, utilizando cinco palabras que comienzan con la letra ¨M¨. En lugar de la causa “Man” se escribe “Mano de obra” y en el lugar de “Measurement” se escribe “Medio ambiente”.

3.2.3.4.1. FORMA DE IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO 5M

Para su implementación se debe seguir los siguientes pasos:

1. **Presentación del problema:** se formula con claridad el fallo o situación a investigar.
2. **Desglose en categorías:** se analizan las cinco categorías preestablecidas de forma sistemática para identificar posibles causas relacionadas con cada una.
3. **Recolección de datos:** se recopila información relevante y evidencias en cada categoría, buscando incidentes, desviaciones, o condicionantes específicos.
4. **Análisis grupal:** se realiza una reunión entre el personal involucrado para discutir y validar las causas encontradas.
5. **Priorización e intervención:** se determinan las causas más críticas dentro de las 5 M y se diseñan intervenciones necesarias para corregirlas.

3.2.3.5. MÉTODO DE LOS 5 ¿POR QUÉ?

El Método de los *5 ¿Por Qué?* es una técnica de resolución de problemas de causas raíz que se utiliza en la gestión de la calidad y el mantenimiento industrial. Este enfoque permite identificar las causas fundamentales de un problema mediante una serie de preguntas secuenciales que se centran en entender el porqué de cada situación o fallo.

La técnica de los 5 por qué fue desarrollada originalmente por Sakichi Toyoda, fundador de Toyota y conocido como el “padre de la revolución industrial japonesa”. En la década de 1950 fue ampliamente utilizada por el ingeniero Taiichi Ohno, uno de los pioneros del Sistema de Producción Toyota (TPS).

Esta técnica fue creada como una herramienta para mejorar la eficiencia en el proceso de producción y resolver problemas. De acuerdo con los principios de Toyoda, la máquina “para cuando ocurre un problema”. El preguntar “¿por qué?” 5 veces permitía descubrir el origen de ese problema (Ohno, 1988).

Esta metodología ha sido ampliamente adoptada en muchas industrias alrededor del mundo para analizar y abordar problemas complejos, convirtiéndose en una parte integral del mantenimiento y la filosofía de mejora continua.

3.2.3.5.1. FORMA DE IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE LOS 5 ¿POR QUÉ?

Para la aplicación de este método, se debe seguir los siguientes pasos:

1. **Selección del problema:** se determina el fallo o defecto específico que se investigará.
2. **Primera “¿Por qué?”:** se pregunta por la causa inmediata del problema y se formula una respuesta clara y basada en hechos.
3. **Preguntas sucesivas:** se repite el proceso de cuestionamiento sucesivamente (cinco veces o hasta encontrar una causa raíz) para profundizar en las causas subyacentes. Cada respuesta debe ser específica y objetiva para que el análisis sea efectivo.
4. **Confirmación de la causa raíz:** cuando la respuesta lleva a una raíz accionable o fundamental, se considera identificada la causa raíz.
5. **Implementación de soluciones:** se definen acciones correctivas o preventivas basadas en la causa raíz encontrada.



El método de los 5 ¿Por qué? es una herramienta poderosa y versátil en el campo del mantenimiento. Su enfoque sistemático para llegar a la causa raíz de los problemas puede conducir a mejoras sustanciales en la eficacia del mantenimiento, la reducción de costos y el aumento de la productividad. Sin embargo, su éxito depende en gran medida de la preparación de quienes lo aplican y del contexto en el que se utiliza. Para maximizar su efectividad, es recomendable usarlo en combinación con otras herramientas de análisis y asegurar un entorno colaborativo que fomente la veracidad en la identificación de problemas.

3.2.4. SISTEMA PROACTIVO DE ANÁLISIS DE FALLAS. EL MÉTODO AMEF

El AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Falla) es una metodología de gestión de mantenimiento utilizada para identificar, evaluar y mitigar los modos de falla potenciales y sus efectos en equipos, sistemas o procesos. Es una herramienta sistemática que se centra en el análisis proactivo, permitiendo a las organizaciones anticipar y prevenir problemas antes de que ocurran, lo que ayuda a mejorar la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de los activos.

El formato AMEF (Figura 3.8) se ha desplegado en cuatro componentes clave:

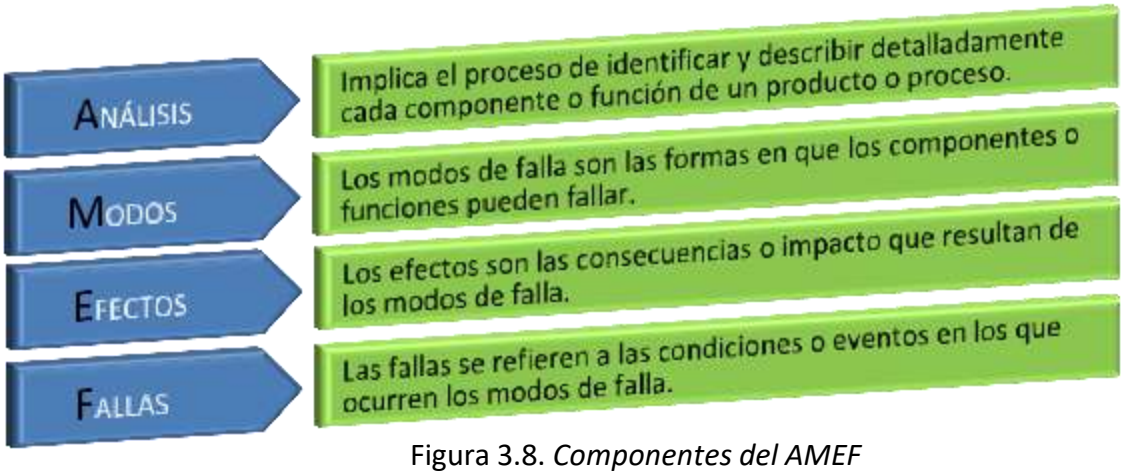


Figura 3.8. *Componentes del AMEF*

3.2.4.1. ORIGEN DEL MÉTODO AMEF

El Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMEF), conocido en inglés como Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), es una metodología sistemática creada durante la década de 1940 en la industria aeroespacial y formalizada en estándares como el MIL-STD-1629A (U.S. Department of Defense. 1980). Posteriormente, su uso se popularizó en múltiples sectores industriales debido a su efectividad para anticipar y mitigar fallas, posicionándose como una herramienta fundamental en la gestión de la calidad y el mantenimiento preventivo.

3.2.4.2. FUNCIONAMIENTO DEL AMEF

El AMEF tiene un enfoque proactivo centrado en identificar potenciales modos de fallo, analizar sus efectos sobre el sistema y priorizar las acciones preventivas con base en un índice de riesgo.

El procedimiento incluye:

- **Identificación de modos de fallo:** reconocer todas las formas potenciales en que un componente o proceso podría fallar.
- **Análisis de efectos:** valorar las consecuencias que cada modo de fallo puede generar en el sistema y en el usuario final.
- **Asignación de valores:** evaluar tres parámetros clave:

    - ***Severidad*** **(S):** la gravedad de los efectos del fallo si ocurre.
    - ***Ocurrencia*** **(O):** la probabilidad o frecuencia con que el fallo podría ocurrir.
    - ***Detección*** **(D):** la capacidad de identificar la falla antes de que cause un impacto significativo.

- **Cálculo del Índice de Prioridad de Riesgo (IPR):** multiplicando estos tres valores, **IPR=S×O×D**, se priorizan los fallos que requieren intervención inmediata.
- **Plan de acción:** definición de medidas para eliminar o reducir los riesgos detectados.

3.2.4.3. METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN DE AMEF

La aplicación rigurosa y estructurada del AMEF tiene en cuenta los siguientes ítems:

1. **Definición del ámbito de análisis:** delimitar claramente el sistema, subsistema o proceso.
2. **Conformación del equipo multidisciplinario:** incluir expertos de distintas áreas para un análisis completo.
3. **Descomposición del sistema:** dividir en partes manejables para detectar fallos específicos.
4. **Listar modos de fallo:** identificar todas las posibles fallas para cada elemento.
5. **Evaluación de efectos y causas:** documentar impactos y razones subyacentes.
6. **Asignación de valores a S, O y D**: basarse en criterios estándar y consenso del equipo.
7. **Cálculo del IPR:** ordenar por nivel de riesgo para priorizar acciones.
8. **Implementación de acciones correctivas y preventivas**: diseñar e incorporar soluciones.
9. **Monitoreo y actualización:** revisar periódicamente el AMEF para asegurar su vigencia y efectividad.



El método AMEF se presenta como una herramienta esencial en la innovación del mantenimiento, al proporcionar un enfoque estructurado para la identificación y gestión proactiva de riesgos asociados a fallos en productos y procesos. Su política preventiva permite no solo mejorar la confiabilidad y seguridad de los sistemas, sino también optimizar costos y recursos. Su correcta aplicación, complementada con tecnologías digitales y estrategias modernas de mantenimiento predictivo, posiciona al AMEF como un pilar clave para organizaciones que buscan innovar de manera efectiva en sus prácticas de mantenimiento y asegurar la excelencia operativa.

3.2.5. CICLO PDCA. MEJORA CONTINUA APLICADAS AL ANÁLISIS DE FALLAS

El ciclo PDCA, también conocido como *Ciclo de Deming* o *Ciclo de Mejora Continua*, es una metodología utilizada en la gestión y mejora de procesos que permite analizar y resolver problemas de manera estructurada y eficiente. Sus siglas corresponden a las fases: Planificar (Plan), Hacer (Do), Verificar (Check) y Actuar (Act).

Este ciclo permite implementar cambios de manera sistemática, evaluar resultados y ajustar acciones para optimizar procesos continuamente y sirve como marco para introducir innovaciones, mejorando la eficiencia, reduciendo fallas y optimizando recursos a través de la mejora continua.

3.2.5.1. ORIGEN DEL CICLO PDCA

El ciclo de Deming tiene sus comienzos en la década de 1920, cuando el ingeniero, físico y estadístico estadounidense Walter Shewhart (1891-1967), también conocido como el *padre del control estadístico de la calidad*, desarrolló el Control Estadístico de Procesos (CEP).

En la década de 1950, el estadounidense William Edwards Deming (1900-1993) refinó y popularizó el CEP, dando origen al Ciclo PDCA (Figura 3.9), un método de mejora continua de procesos.

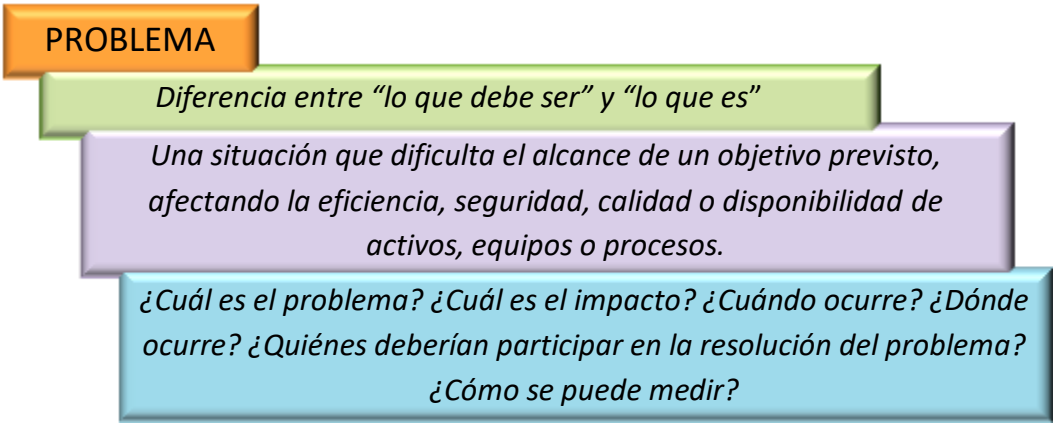
Deming, estadístico cuyo nombre está asociado al desarrollo y crecimiento de Japón después de la Segunda Guerra Mundial, promovió esta herramienta dentro de sus programas de calidad total. Su objetivo era crear un enfoque sistemático que permitiera a las organizaciones japonesas mejorar la calidad de sus procesos de manera constante y sostenible.

3.2.5.2. PROCEDIMIENTOS PARA ANALIZAR PROBLEMAS UTILIZANDO EL CICLO PDCA

Para la aplicación de este método se debe seguir los siguientes pasos:

1. PLAN (Planificar)

- Identificar claramente el problema o área de mejora.



- Establecer metas y objetivos específicos de mejora, medibles, relevantes y alcanzables, acotados en el tiempo y alineados a las políticas y estrategias de la organización.
- Identificar las causas raíz del problema, teniendo en cuenta:
  - Involucrar a todos los implicados.
  - Tener claro el objetivo del diagnóstico.
  - Buscar causas y no culpables (fallas, tiempos de parada, costos).
  - Evidencia basada en hechos y/o datos.
  - Ser objetivo (visión crítica).
  - Utilizar herramientas para análisis de causas (brainstorming, espina de pescado, 5 por qué, el análisis de modo y efecto de falla).
- Desarrollar y consensuar un plan de acción detallado y realista, definiendo un cronograma de actividades, incluyendo nuevas tecnologías o prácticas innovadoras que se quieren probar.

2. DO (Hacer)

- Implementar el plan de acción, teniendo en cuenta:
  - Capacitar al personal involucrado sobre las nuevas herramientas o procedimientos.
  - Realizar las acciones necesarias para resolver el problema.
  - Registrar detalladamente todas las acciones y cualquier incidencia durante la implementación.
  - verificar el avance de las acciones y contrastar con el plan.

3. CHECK (Verificar, chequear)

- Evaluar los resultados obtenidos en relación con los objetivos establecidos.
- Analizar indicadores clave como reducción de fallas, costos, tiempos de reparación y satisfacción del equipo.
- Identificar desviaciones y oportunidades de mejora.
- Analizar los datos recopilados para determinar la efectividad del plan de acción.

4. ACT (Actuar)

- Tomar acciones correctivas para abordar desviaciones o problemas no resueltos.
- Estandarizar las mejoras exitosas y ampliar su implementación al resto de la organización.
- Ajustar o modificar las prácticas basadas en la retroalimentación y datos recolectados.
- Mantener un ciclo continuo de revisión para sostener la mejora y fomentar la innovación permanente.

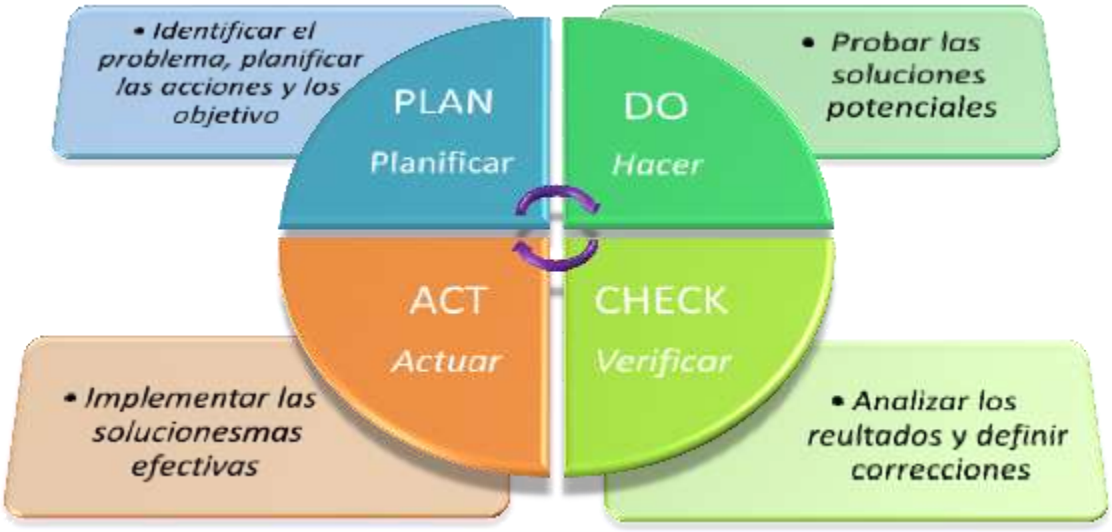


Figura 3.9. *Ciclo PDCA*

El ciclo PDCA es una herramienta efectiva para analizar y resolver problemas en diversas industrias y contextos. Al seguir los procedimientos descritos en este trabajo, las organizaciones pueden mejorar la calidad, reducir costos y aumentar la productividad.

La implementación del ciclo PDCA requiere compromiso y dedicación, pero los beneficios obtenidos pueden ser significativos

3.3. RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS MÉTODOS PRESENTADOS

La implementación de herramientas y procedimientos para el análisis de problemas y fallas en el mantenimiento industrial es crucial para mejorar la eficacia y la eficiencia operativa. A continuación, se presentan recomendaciones prácticas que las organizaciones, incluyendo al ARMP, deben seguir para facilitar esta implementación:

- **Capacitación y Sensibilización del Personal**
  - Formación continua: es esencial ofrecer capacitación regular en el uso de las herramientas mencionadas, como las planillas de inspección y diagramas de causa y efecto. Los empleados deben estar familiarizados con estas herramientas y comprender su importancia.
  - Talleres de sensibilización: realizar talleres donde los trabajadores puedan experimentar con estas técnicas, permitiendo que comprendan su aplicación práctica en sus roles diarios.
- **Integración de Herramientas en el Proceso de Mantenimiento**
  - Incorporación en el plan de mantenimiento: integrar las herramientas de análisis en el plan de mantenimiento preventivo y predictivo. Por ejemplo, utilizar histogramas en la evaluación de tendencias de fallos y planillas de inspección como parte de la rutina diaria.
  - Uso de software de gestión: implementar sistemas de gestión de mantenimiento asistidos por computadora (CMMS) que faciliten el registro y análisis de datos. Esto puede optimizar la recolección de datos y la generación de reportes.
- **Promoción de un Ambiente de Mejora Continua**
  - Cultura del aprendizaje: fomentar una cultura organizacional orientada al aprendizaje y la mejora continua. El feedback y la retroalimentación deben ser constantes, y todos los empleados deben sentirse cómodos compartiendo sus ideas y soluciones.
  - Reuniones regulares de discusión: organizar reuniones periódicas para revisar los análisis realizados, discutir problemas recurrentes y evaluar la eficacia de las herramientas. Esto permite realizar ajustes en las estrategias según sea necesario.
- **Establecimiento de Indicadores de Desempeño**
  - Definición de KPIs: establecer indicadores clave de desempeño (KPIs) relacionados con el mantenimiento, como la tasa de fallos, el tiempo medio entre fallas y la efectividad general del equipo. Estos KPIs ayudarán a medir la eficacia de las herramientas implementadas.

- Monitoreo y evaluación: implementar un sistema de monitoreo continuo de los indicadores para evaluar la efectividad de las herramientas y métodos aplicados, asegurando que se realicen ajustes cuando sea necesario.

Documentación y Compartición de Conocimientos

- Creación de manuales de procedimientos: documentar todos los procesos y procedimientos relacionados con las herramientas de análisis, para asegurar que la información esté disponible para futuras referencias y nuevos empleados.
- Plataforma de compartición de conocimientos: establecer un sistema donde los equipos puedan compartir casos de éxito, lecciones aprendidas y mejores prácticas. Esto puede ser a través de plataformas digitales, como intranets o foros internos.

Participación Activa de la Alta Dirección

- Compromiso de la dirección: la alta dirección debe estar comprometida con la implementación de estas herramientas, proporcionando recursos y apoyo. Su participación activa en la promoción de estas iniciativas ayudará a generar un impacto positivo en la cultura organizacional.
- Establecimiento de objetivos estratégicos: definir objetivos estratégicos claros que alineen el uso de estas herramientas con los objetivos generales de la organización, asegurando que se prioricen las inversiones y esfuerzos necesarios.

Evaluación de Resultados y Ajustes

- Revisión periódica de resultados: realizar revisiones periódicas para evaluar el impacto de las herramientas y técnicas implementadas. Analizar si se están logrando los objetivos de mejora en el mantenimiento.
- Ajustes y optimización: basándose en las evaluaciones, estar dispuestos a ajustar y optimizar los procesos y herramientas utilizados para adaptarse a la dinámica cambiante del entorno industrial.



Estas recomendaciones no solo ayudarán a mejorar el mantenimiento del ARMP, sino que también promoverán un entorno de trabajo más colaborativo y eficiente. Implementar un enfoque sistemático y basado en datos servirá para maximizar la efectividad de las estrategias de mantenimiento y facilitar la innovación continua.

CAPÍTULO 4. ESTRATEGIAS Y FILOSOFÍAS PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

En la ingeniería del mantenimiento moderno, el enfoque ha evolucionado más allá de la simple ejecución de tareas reactivas o programadas. Han surgido marcos de trabajo integrales que no constituyen un "tipo" de mantenimiento en sí mismos, sino que son filosofías de gestión o estrategias sistemáticas que buscan optimizar la relación entre los activos, las personas y los procesos productivos. Estas metodologías proporcionan una estructura para decidir qué tipo de mantenimiento aplicar, cuándo y por qué, alineando los objetivos del mantenimiento con los objetivos estratégicos de la empresa.

Este capítulo se centrará en dos de las filosofías más reconocidas:

- **Mantenimiento Productivo Total (TPM)**
- **Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC/RCM)**

4.1. MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una filosofía de gestión que busca maximizar la efectividad de los equipos y minimizar las pérdidas operativas a través de una participación activa de todos los empleados. Este enfoque se centra en la mejora continua y la creación de un entorno en el que todos los miembros de una organización, desde la alta dirección hasta los operarios de planta, colaboren para mantener y mejorar los activos de producción.

Según la norma JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance. 1978), el TPM se define como un sistema de gestión que combina mantenimiento y producción, con el objetivo de aumentar la eficiencia operativa, involucrando a todos los niveles de la organización en el cuidado y mejora de los equipos y orientado a lograr:

- ✓ Cero accidentes
- ✓ Cero defectos
- ✓ Cero pérdidas



El TPM es una técnica que promueve un trabajo donde están siempre unidos, según los mismos objetivos,
la persona, la máquina y la empresa.
De esta manera, el trabajo de conservación de los medios de producción, pasa a ser preocupación y acción de todos, desde el directorio hasta el operador del proceso o servicio.

4.1.1. ORIGEN DEL TPM

El concepto de TPM (Figura 4.1) se originó en Japón en la década de 1970, como parte de los esfuerzos de mejora en la industria manufacturera tras la Segunda Guerra Mundial. Se desarrolló a partir de los principios del mantenimiento preventivo y se integró en el sistema de producción Just in Time (Justo a Tiempo) del Toyota Production System. La filosofía TPM fue formalizada por el JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance) en el año 1971 y ha ganado reconocimiento internacional como una estrategia eficaz para la mejora continua en la gestión de activos.



Figura 4.1. *El TPM*

4.1.2. OBJETIVOS DEL TPM

Los objetivos del TPM incluyen:

- **Maximizar la disponibilidad de los equipos**: reducir tiempos de inactividad y fallos.
- **Mejorar la calidad del producto**: disminuir las tasas de defectos.
- **Reducir costos operativos**: incrementar la eficiencia en el uso de recursos.
- **Fomentar la participación de los empleados**: crear un ambiente colaborativo y proactivo.
- **Promover la mejora continua**: implementar ciclos permanentes de evaluación y optimización.

4.1.3. CARACTERÍSTICAS DEL TPM

Las características más significativas del TPM son:

- Acciones de mantenimiento en todas las etapas del ciclo de vida del equipo.
- Participación amplia de todas las personas de la organización.

- Es observado como una estrategia global de empresa, en lugar de un sistema para mantener equipos.
- Orientado a la mejora de la efectividad global de las operaciones, en lugar de prestar atención a mantener los equipos funcionando.
- Intervención significativa del personal involucrado en la operación y producción, y en el cuidado y conservación de los equipos y recursos físicos.
- Procesos de mantenimiento fundamentados en la utilización profunda del conocimiento que el personal posee sobre los procesos.

4.1.4. LOS 8 PILARES DEL TPM

El modelo de TPM se asienta sobre ocho pilares fundamentales (Figura 4.2), detallados a continuación:

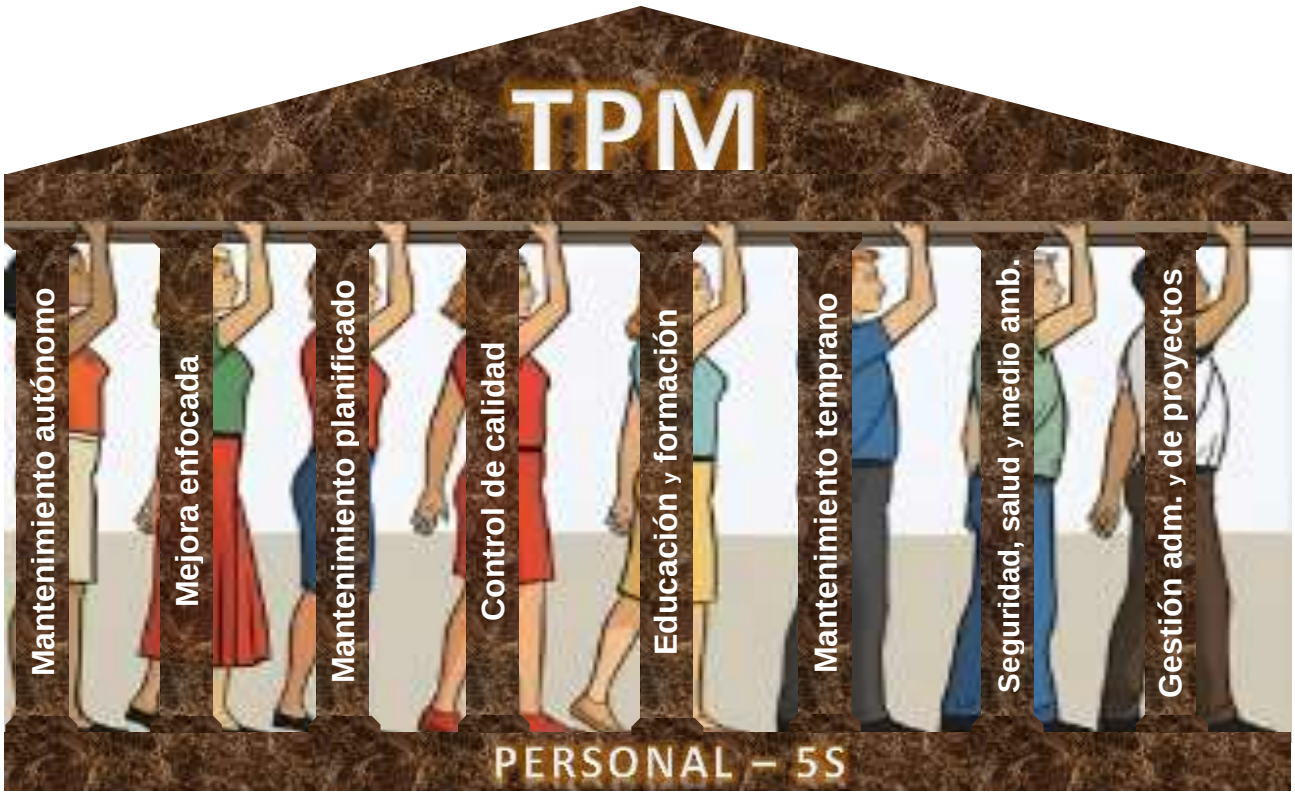


Figura 4.2. *Los Ocho Pilares del TPM*

1. **Mantenimiento Autónomo (Jishu Hozen):** capacita a los operadores para que asuman la responsabilidad del cuidado básico de sus equipos (limpieza, lubricación, inspección y ajustes menores). El objetivo no es reemplazar a los técnicos, sino que el operador sea la primera línea de defensa, detectando anomalías antes de que se conviertan en fallas.
2. **Mejoras Enfocadas (Kobetsu Kaizen):** equipos multidisciplinarios trabajan juntos para identificar y eliminar las "grandes pérdidas" (averías, tiempos de preparación, paradas menores, etc.) en procesos específicos. Utilizan metodologías de análisis para optimizar la eficiencia de equipos y sistemas de forma incremental y sostenida.

3. **Mantenimiento Planificado (Keikaku Hozen):** consiste en programar intervenciones preventivas y predictivas de manera sistemática para minimizar las paradas no programadas y avanzar hacia la meta de "cero fallas". Se basa en el análisis de datos históricos y la criticidad de los equipos para optimizar los planes de mantenimiento.
4. **Control de Calidad (Hinshitsu Hozen):** asegura que los equipos operen en condiciones que eviten defectos en el producto. Se enfoca en identificar y controlar las características de la maquinaria que tienen un impacto directo en la calidad, previniendo la generación de no conformidades.
5. **Educación y Entrenamiento (Kyoryoku)**: desarrolla sistemáticamente las habilidades del personal. Busca formar operadores capaces de realizar mantenimiento autónomo, técnicos polivalentes expertos en diagnóstico e ingenieros que diseñen procesos y equipos de alta fiabilidad y mantenibilidad.
6. **Mantenimiento Temprano (Tenken):** aplica el conocimiento y la experiencia acumulada sobre mantenimiento para influir en el diseño y la instalación de nuevos equipos. El objetivo es adquirir maquinaria que sea más fácil de operar, mantener y que presente menos fallos desde el inicio de su ciclo de vida.
7. **Seguridad, Salud y Medio Ambiente (Azen, kenkou, kankou):** integra prácticas para garantizar un entorno de trabajo libre de accidentes y con mínimo impacto ambiental. Fomenta una cultura de prevención, evaluación de riesgos y el uso de metodologías como las 5S para mantener un lugar de trabajo seguro y ordenado.
8. **TPM en Áreas Administrativas y de Gestión de Proyectos:** extiende los principios del TPM (eliminación de desperdicios, estandarización, mejora continua) a los departamentos de soporte (compras, logística, planificación). Su objetivo es optimizar los flujos de información y los procesos administrativos que impactan indirectamente en la eficiencia productiva

En la actualidad algunos autores consideran un noveno pilar, incorporando temas que no existían en el tiempo de origen del TPM. Este pilar podría ser el siguiente:

9. **Digitalización y Gestión del Conocimiento:** integrar tecnologías avanzadas como IoT (internet de las cosas), análisis de datos, IA (inteligencia artificial), mantenimiento predictivo y sistemas automatizados para mejorar la toma de decisiones. Capturar, registrar y compartir el conocimiento técnico y operacional para asegurar la continuidad, evitar la pérdida de información y facilitar la innovación.

4.1.5. LAS "5S" DENTRO DEL TPM (fundamentos para la excelencia operacional)

El desarrollo del Mantenimiento Productivo Total (TPM) ha evidenciado claramente la importancia de implementar prácticas sistemáticas de limpieza, orden y disciplina en todos los niveles de la organización. No solo se trata de mejorar el ambiente laboral, sino también de generar un impacto positivo en la productividad y la calidad de las operaciones.

En este contexto, las “5S” se consolidan como un pilar fundamental para alcanzar la mejora continua dentro del TPM.

Las “5S” son cinco conceptos originarios de Japón, cuyos nombres comienzan con la letra “S” en japonés y representan valores clave para la organización y optimización del espacio y los procesos de trabajo. Estas son:



SEIRI (Organización o Clasificación): consiste en identificar y separar los elementos necesarios de los innecesarios en el área de trabajo. El objetivo es eliminar lo que no aporta valor, deshacerse o reubicar esos elementos para evitar acumulaciones inútiles que reducen la eficiencia y aumentan el riesgo de accidentes. Esto facilita la reducción de desperdicios y mejora el flujo de trabajo.



SEITON (Orden o Sistematicidad): se refiere a la disposición lógica y ordenada de los materiales y herramientas necesarias, basándose en la frecuencia de uso, el tipo, tamaño y peso de cada objeto. El propósito es que las personas puedan encontrar rápidamente lo que necesitan, minimizando tiempos muertos y desplazamientos innecesarios. Un espacio ordenado además crea un ambiente laboral más seguro y agradable.



SEISO (Limpieza y Detección de Problemas): implica no solo eliminar la suciedad visible, sino también implementar la limpieza como una práctica diaria y una oportunidad para inspeccionar equipos e instalaciones, detectando fallos o condiciones anómalas a tiempo. Esta etapa fomenta la responsabilidad individual en el mantenimiento de un entorno limpio, lo cual reduce la probabilidad de fallas y mejora la confiabilidad de los activos.



SEIKETSU (Estandarización y Mantenimiento): consiste en crear y mantener estándares claros de organización, limpieza y orden, para asegurar que las mejoras alcanzadas no se pierdan con el tiempo. Incluye el establecimiento de normas, procedimientos y hábitos saludables que sean fáciles de seguir por todos, promoviendo un ambiente de trabajo estable y profesional.



SHITSUKE (Disciplina y Autodisciplina): la última S hace referencia a la disciplina necesaria para que los integrantes de la organización cumplan con las normas establecidas de forma constante y sin supervisión constante. Esta disciplina es fundamental para la continuidad de las normas y para cultivar una cultura organizacional basada en el compromiso, la responsabilidad y el respeto mutuo.

4.1.5.1. IMPORTANCIA DE LAS 5S EN EL TPM

La implementación sistemática de las 5S (Figura 4.3) aporta múltiples beneficios que van más allá del simple orden o limpieza. Al fomentar un ambiente de trabajo más seguro, eficiente y motivador, se reducen los tiempos de búsqueda y preparación, se minimizan los riesgos de accidentes, se mejora la moral del equipo y se contribuye a la reducción de pérdidas innecesarias. Además, su estrecha relación con los principios del TPM permite potenciar la confiabilidad de los equipos, disminuyendo las averías y extendiendo la vida útil de la maquinaria.

Por otro lado, las 5S no deben considerarse una actividad aislada o de una única vez, sino como un proceso cotidiano y parte integral de la cultura de mejora continua, donde todos los colaboradores participan activamente para mantener y perfeccionar su entorno de trabajo.



Figura 4.3. *Las 5S*

4.1.6. RELACIÓN ENTRE EL TPM Y LOS TIPOS DE MANTENIMIENTO

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) establece un enfoque integral para la gestión del mantenimiento, incorporando distintos tipos de mantenimiento en sus principios fundamentales. Esta integración no solo mejora la efectividad general de los equipos, sino que también optimiza la colaboración entre los diferentes enfoques de mantenimiento. En el siguiente cuadro (Tabla 4.1) se detalla cómo se relaciona el TPM con los distintos tipos de mantenimiento:

Tabla 4.1. *TMP y los Tipos de Mantenimiento*

TIPO DE MANTENIMIENTO	RELACIÓN CON EL TPM
NO MANTENIMIENTO (*Contrario al TPM*)	No presenta alineación con el TPM
CORRECTIVO (*Puede integrarse al TPM*)	**Prevención de fallos:** una de las metas del TPM es reducir la necesidad de mantenimiento correctivo, promoviendo una mayor fiabilidad del equipo y una reducción de las interrupciones operativas. **Participación de los operadores:** el TPM implica que los operadores estén capacitados para identificar y reportar problemas antes de que se conviertan en fallos, lo que ayuda a minimizar los eventos que requieren mantenimiento correctivo.
PREVENTIVO (*Fortalece al TPM*)	**Mantenimiento autónomo:** bajo el TPM, se alienta a los operadores a realizar rutinariamente tareas de mantenimiento básico y limpieza, lo que complementa las actividades de mantenimiento preventivo. **Planificación y programación:** el TPM promueve la creación de programas de mantenimiento preventivo efectivos, basados en el análisis de datos operacionales y el estado del equipo.
PREDICTIVO (*Sinergia con el TPM*)	**Datos y análisis:** el TPM fomenta el uso de métricas de rendimiento y análisis de datos para identificar tendencias que puedan indicar un potencial fallo, permitiendo así combinar técnicas predictivas con el enfoque de mejora continua. **Innovación tecnológica:** la implementación de tecnologías avanzadas, como el Internet de las Cosas (IoT), puede ser parte de un enfoque TPM, donde los datos recopilados son usados para mejorar la efectividad del mantenimiento predictivo.
PROACTIVO (*Fundamental para el TPM*)	**Cultura de Mejora Continua:** el TPM promueve la identificación sistemática de las causas de fallos y la implementación de soluciones permanentes, lo que se alinea con las prácticas de mantenimiento proactivo. **Equipos de Mejora:** los equipos formados por empleados de diferentes niveles se enfocan en reducir pérdidas y mejorar procesos mediante el análisis de problemas estructurales y operativos.

El TPM no opera en un vacío, sino que integra y optimiza diversos enfoques de mantenimiento para crear un sistema de gestión de activos más robusto y eficiente. Su fuerte enfoque en la participación del personal y la mejora continua permite que las organizaciones mantengan sus equipos en condiciones óptimas y se anticipen a los problemas, mejorando así la productividad general. Esta sinergia entre el TPM y los distintos tipos de mantenimiento permite a las organizaciones maximizar la confiabilidad de sus operaciones, reducir costos y mejorar la calidad de sus productos o servicios, en un ambiente saludable.



4.1.7. MÉTODO DE IMPLEMENTACIÓN DEL TPM (MODELO DE 12 PASOS)

La implementación del Mantenimiento Productivo Total es un proceso transformador que requiere una planificación meticulosa y un compromiso a largo plazo. El modelo más aceptado, propuesto por el JIPM, se estructura en 12 pasos organizados en tres fases principales.

Fase 1: Preparación (Pasos 1 a 5)

Esta fase inicial se centra en crear las condiciones necesarias para el éxito del programa, asegurando el compromiso, la formación y la planificación estratégica.

- **Paso 1: Anuncio y Compromiso de la Alta Dirección**
  El punto de partida indispensable es el compromiso firme, visible y sostenido de la alta dirección, que va más allá de la simple participación y debe ser claramente comunicado a toda la organización. La dirección debe comunicar claramente los motivos, los objetivos y los beneficios esperados del TPM y liderar activamente el proceso, supervisando su difusión, fomentando actitudes positivas y reconociendo los esfuerzos iniciales.

- **Paso 2: Campaña Educativa y de Difusión**
  Para transformar la cultura organizacional, es fundamental crear una base de conocimiento común. Se debe diseñar y ejecutar un programa de formación escalonado: primero para directivos, mandos intermedios y facilitadores, y luego para el resto del personal. El objetivo es que todos comprendan la filosofía, los conceptos y el lenguaje del TPM. Esta formación se refuerza con campañas de comunicación interna (carteles, boletines, reuniones) para mantener el impulso y la visibilidad del programa.

- **Paso 3: Creación de la Organización para la Promoción del TPM**
  Se conforma un Comité de Coordinación para dirigir la implementación, preferentemente con jefes de sectores, que nombran responsables y equipos en cada área. Se formarán grupos de trabajo colaborativos, liderados por supervisores destacados.
  Dado que la implantación puede durar de 3 a 5 años, se requiere compromiso a tiempo completo de los responsables permanentes.
  La selección de los líderes del comité y equipos debe hacerse cuidadosamente, priorizando la idoneidad y compromiso para garantizar resultados exitosos.
  La excelencia operativa es el medio y no la meta, para lograr la mejora continua.

- **Paso 4: Establecimiento de Políticas Básicas y Metas**
  Se debe integrar el TPM en la política de la organización, vinculándolo claramente con los objetivos estratégicos de mediano y largo plazo. Se definen metas cualitativas y

cuantitativas, como la reducción de fallas, aumento de disponibilidad y mejora en productividad, basadas en las condiciones actuales para medir el progreso. Se establecen indicadores de rendimiento y criterios de comparación a nivel "Clase Mundial" para evaluar avances y justificar costos.

- **Paso 5: Diseño de un Plan Piloto y Seguimiento**
  Se elabora una hoja de ruta detallada que programa todas las actividades de la implementación a mediano y largo plazo. Este plan incluye la selección de un **área piloto**, donde se aplicarán inicialmente los pilares del TPM para aprender, ajustar el método y demostrar resultados tangibles. Se preparan manuales de procedimientos para guiar a los participantes y se establecen rutinas de seguimiento, como reuniones mensuales del comité, para monitorizar el avance y corregir desviaciones.

Fase 2: Implementación Formal (Pasos 6 a 11)

En esta fase se inicia el despliegue de los pilares del TPM, comenzando por el área piloto.

- **Paso 6: Lanzamiento Oficial del TPM (Kick-off)**
  Una vez completada la preparación, se realiza un evento formal de lanzamiento para marcar el inicio de la implementación. Este acto, en el que debe participar todo el personal, sirve para energizar a la organización y reafirmar públicamente el compromiso de la dirección. Para esta fecha, todos los colaboradores ya deberían haber recibido la formación introductoria.

- **Paso 7: Implementación del Pilar de Mejoras Enfocadas (Kobetsu-Kaizen)**
  Se comienza a actuar sobre las pérdidas. Grupos multidisciplinarios (operación, mantenimiento, ingeniería) analizan las **seis grandes pérdidas** en la línea piloto. Utilizan herramientas de análisis para identificar las causas raíz y proponen contramedidas. Se fomenta la participación activa y se priorizan las acciones que ofrezcan mayor impacto. Una práctica común es usar códigos visuales para la gestión de tareas (ej: amarillo para operación, rojo para mantenimiento, verde para ingeniería).

- **Paso 8: Establecimiento del Pilar de Mantenimiento Autónomo (Jishu-Hozen)**
  Paralelamente, se inicia el desarrollo del pilar más emblemático del TPM. El Mantenimiento Autónomo se implementa a través de 7 pasos progresivos, mediante los cuales los operadores asumen gradualmente la responsabilidad del cuidado de sus equipos:

  1. **Limpieza Inicial:** limpiar el equipo para inspeccionarlo y descubrir anomalías.
  2. **Eliminar Fuentes de Contaminación y Mejorar Accesos:** implementar contramedidas para que la máquina no se ensucie tan fácilmente y sea más accesible para limpiar y lubricar.

3. **Creación de Estándares Provisionales de Limpieza y Lubricación:** definir procedimientos básicos para que los operadores los sigan.
4. **Inspección General:** formar a los operadores en los aspectos técnicos básicos de sus equipos para que puedan realizar inspecciones más profundas.
5. **Inspección Autónoma:** los operadores ejecutan sus propias listas de chequeo de inspección, ajustando y corrigiendo pequeños problemas.
6. **Estandarización:** se organizan y estandarizan todos los controles del puesto de trabajo, integrando las tareas de mantenimiento autónomo en la rutina diaria.
7. **Gestión Autónoma Plena:** el equipo de trabajo opera de forma autónoma, proponiendo mejoras continuas en sus equipos y procesos.

- **Paso 9: Establecimiento del Pilar de Mantenimiento Planificado**
  El departamento de mantenimiento desarrolla un sistema robusto para gestionar las intervenciones programadas. Se optimizan las estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, basándose en el análisis de datos de averías y la criticidad de los equipos, con el objetivo de alcanzar el "cero averías".

- **Paso 10: Formación y Entrenamiento Para la Mejora de Habilidades**
  Se implementa un plan de formación continua para elevar las competencias técnicas de toda la plantilla. Se busca que los operadores dominen su equipo, que los mantenedores sean polivalentes y expertos en diagnóstico, y que los ingenieros puedan diseñar equipos y procesos de alta fiabilidad.

- **Paso 11: Desarrollo de la Gestión Temprana de Equipos**
  Se crea un sistema para aplicar todo el conocimiento adquirido durante el TPM en la fase de diseño y adquisición de nuevos equipos. El objetivo es asegurar que los nuevos activos sean fáciles de operar, mantener y que arranquen su ciclo de vida libre de los problemas crónicos de los equipos antiguos.

Fase 3: Consolidación (Paso 12)

- **Paso 12: Consolidación y Expansión**
  Una vez establecida la base del TPM, se amplía a todos los equipos y áreas, aumentando los niveles de eficiencia y estableciendo nuevas metas y retos. Se recomienda la contratación de consultores especializados para ajustar el programa y asegurar su continuidad y mejora constante.

4.1.8. CONSIDERACIONES GENERALES DEL TPM

A continuación (Tabla 4.2) se exhibe un resumen de los puntos más importantes a considerar sobre el TPM.

Tabla 4.2. *Consideraciones del TPM*

El propósito central del TPM es impulsar un cambio profundo en las ideas y comportamientos de las personas, promoviendo una transformación cultural en toda la organización. Para lograrlo, es esencial la participación activa de todo el personal, con un énfasis particular en el compromiso de los niveles directivos superiores.	TPM se fundamenta en una gestión participativa que integra a todos los colaboradores y destaca el respeto al factor humano y medio ambiente.
	El TPM busca generar resultados tangibles no solo a nivel de operadores, sino involucrando a toda la organización en un esfuerzo coordinado y comprometido.
Es fundamental mantener abiertos y efectivos los canales de comunicación bidireccionales, especialmente de abajo hacia arriba, para captar opiniones, sugerencias y propuestas que contribuyan al mejoramiento continuo.	La implementación de TPM sigue un enfoque “top-down” (de arriba hacia abajo).
Las actividades de TPM deben ser desarrolladas por equipos pequeños y multidisciplinarios que incluyan personal de todas las áreas, no solo operativos, sino también administrativos, de mantenimiento y otros departamentos.	
La conducción y liderazgo de las iniciativas para mejorar la eficiencia de los equipos deben estar a cargo principalmente de jefes y supervisores, quienes guían y motivan los esfuerzos.	La correcta implantación del “Jishu-Hozen” o mantenimiento autónomo depende de que los equipos y las instalaciones se encuentren bajo total control y en condiciones óptimas.

4.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC)

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, conocido internacionalmente como Reliability-Centered Maintenance (RCM), es un enfoque sistemático orientado a la gestión eficiente de activos físicos (como maquinaria, equipos industriales o herramientas) que permite diseñar estrategias de mantenimiento optimizadas y específicas para cada elemento dentro del sistema productivo. Este proceso implica la identificación detallada de los activos esenciales para la operación, la comprensión profunda de sus modos de fallo

potenciales y la evaluación de cómo esos fallos afectan la seguridad, la operatividad y el costo.

A diferencia de enfoques tradicionales, el MCC se caracteriza por ser altamente personalizado y adaptativo, con planes de mantenimiento basados en siete preguntas clave (Figura 4.4) y diseñados en función del uso particular del activo, sus componentes críticos, su entorno operativo y las amenazas singulares que podrían comprometer su funcionamiento.

El MCC no solo aborda la frecuencia y tipo de actividades de mantenimiento (como inspecciones, lubricación o reemplazos) sino que también integra técnicas avanzadas de monitoreo de condiciones y análisis predictivo, permitiendo anticipar y mitigar fallos antes de que ocurran. Se diferencia significativamente de otros métodos por su enfoque basado en la función del activo, la criticidad para el proceso global y el riesgo asociado a los diferentes modos de fallo. Esto implica que cada activo recibe un tratamiento único, que prioriza tanto la seguridad operacional como la eficiencia económica.

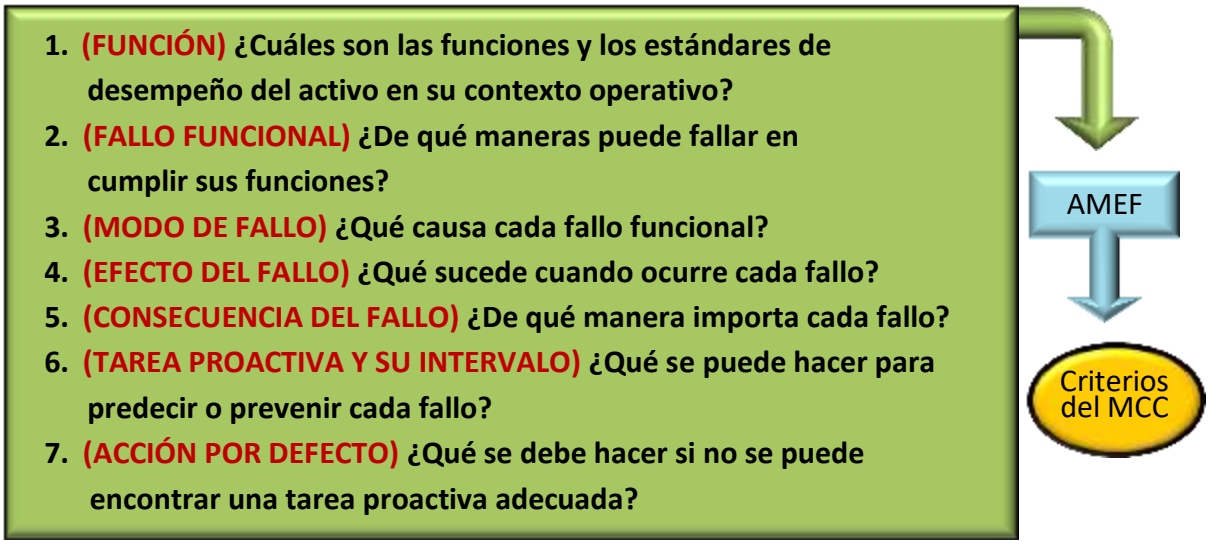


Figura 4.4. *Las 7 Preguntas del MCC*

4.2.1. OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

Los principales objetivos del MCC son:

- **Preservar la función del sistema:** garantizar que los activos cumplan sus funciones deseadas.

- **Identificar modos de fallo y sus consecuencias:** entender cómo y por qué pueden fallar los activos.
- **Priorizar la criticidad:** enfocar los esfuerzos en los modos de fallo con mayores consecuencias (seguridad, medio ambiente, producción, costo).
- **Seleccionar la tarea de mantenimiento más eficaz y aplicable:** elegir la estrategia de mantenimiento óptima para cada modo de fallo.

4.2.2. FUNCIONAMIENTO DEL ANÁLISIS EN EL MCC

El análisis dentro del proceso de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es multidimensional y requiere la integración coordinada de diversos componentes y actores. Para que una organización opere de manera eficiente bajo este enfoque, es esencial que los operadores y el personal de mantenimiento registren y reporten sistemáticamente el uso y las condiciones de las máquinas y herramientas. Estos datos resultan fundamentales para alimentar y ajustar continuamente el programa MCC, garantizando la gestión proactiva de recursos y la maximización de la disponibilidad operativa. En el Anexo `A´, punto A.12 se presenta un ejemplo práctico de este método.

A continuación, se describen las principales etapas y componentes que intervienen en el análisis, según las mejores prácticas de MCC:

- **Identificación y Catalogación de Activos:**
  En esta etapa inicial, la organización define y registra detalladamente todos los activos físicos relevantes para su operación. Esto puede abarcar desde la totalidad de los equipos presentes en la planta hasta un subconjunto específico enfocado en aquellos que impactan directamente la producción de bienes y servicios.

- **Establecimiento de Criterios de Evaluación:**
  Una vez identificados los activos, se desarrollan criterios técnicos y operativos que permitan evaluar rigurosamente el estado de cada uno. Estas métricas pueden basarse en estándares de la industria, normativas internas o una combinación de ambas, con el fin de garantizar una evaluación objetiva y comparable.

- **Documentación del Uso y Condiciones:**
  Se analiza si los activos están operando dentro de los parámetros para los cuales fueron diseñados o si han sido modificados para adaptarse a requerimientos específicos. Esta revisión es crucial, ya que alteraciones o usos fuera de especificación pueden afectar significativamente la confiabilidad y el riesgo asociado al activo.

- **Monitoreo Continuo del Estado de los Activos:**
  El monitoreo puede ser manual o automatizado, incluyendo sistemas de monitoreo en tiempo real que proveen información instantánea sobre el desempeño y la condición de los equipos. Esto facilita la detección temprana de anomalías y la toma de decisiones basadas en datos que reducen la latencia entre la detección y la intervención.

- **Análisis de Criticidad:**
  Se evalúa la importancia relativa de cada activo dentro del proceso productivo, determinando el impacto que tendría su fallo sobre la operación, la seguridad y los costos. Esta priorización es esencial para enfocar recursos y esfuerzos en los elementos que representan mayores riesgos.

- **Gestión y Seguimiento de Activos:**
  Los activos y sus estrategias de mantenimiento se integran en sistemas especializados, comúnmente una GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador), que permiten el seguimiento de órdenes de trabajo, registros de mantenimiento y control de inventario de repuestos, asegurando una trazabilidad completa y organizada.

- **Capacidades de Detección:**
  Se analiza la disponibilidad y efectividad de mecanismos de detección, ya sean sensores automáticos, sistemas de diagnóstico o inspecciones manuales. Esta evaluación permite optimizar el monitoreo y programar intervenciones de mantenimiento basadas en información precisa y oportunamente obtenida.

- **Evaluación de la Probabilidad de Fallo:**
  A cada activo se le asigna una probabilidad de fallo basada en su historia, condiciones actuales y modos potenciales de falla. El uso de metodologías como el FMEA (Análisis de Modos y Efectos de Falla), desarrollado históricamente por el Departamento de Defensa de EE.UU. en los años 40, es común para determinar estas probabilidades y orientar las acciones preventivas.

- **Análisis de Consecuencias del Fallo:**
  Se estudian los efectos potenciales asociados a la falla de cada activo, incluyendo impactos en seguridad, continuidad operativa y costos financieros. Diferenciar activos críticos de aquellos con impacto menor permite diseñar estrategias de mantenimiento que mitiguen eficazmente los riesgos más significativos.

- **Análisis de Causa Raíz:**
  Cuando ocurre una falla, los ingenieros deben realizar un análisis detallado para identificar la causa fundamental y establecer acciones correctivas y preventivas que impidan la recurrencia. Este paso es fundamental para el aprendizaje organizacional y la mejora continua del sistema de mantenimiento.

4.2.3. PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DEL MCC

La implementación del MCC generalmente sigue un enfoque estructurado que incluye los siguientes pasos:

1. **Definición de Objetivos**: establecer claramente qué se espera lograr con la implementación del MCC.
2. **Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)**: identificar todos los posibles modos de falla, sus causas y efectos en la operación de los equipos.
3. **Priorización de Equipos y Funciones**: determinar cuáles equipos son críticos y deben ser objeto de un enfoque de MCC.
4. **Desarrollo de Estrategias de Mantenimiento**: crear tácticas específicas de mantenimiento (preventivo, predictivo, etc.) basadas en los resultados del AMEF.
5. **Capacitación del Personal**: formar a los equipos de mantenimiento y operación en el nuevo enfoque, asegurando que entienden el valor del MCC.
6. **Implementación y Pruebas**: llevar a cabo la implementación y monitorear el rendimiento antes de hacer ajustes y mejoras.
7. **Revisión Continua**: establecer un proceso de revisión periódica del enfoque de MCC para responder a cambios en la operación o en el entorno.



El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad representa un avance significativo en la gestión de activos industriales, al ofrecer un enfoque sistemático, personalizado y basado en el análisis de riesgos para optimizar la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de los equipos. Su aplicación permite no solo reducir costos y evitar fallos inesperados, sino también promover una cultura de mejora continua mediante el monitoreo y la evaluación constante de los activos.

4.2.5. RELACIÓN ENTRE LOS DISTINTOS TIPOS DE MANTENIMIENTO Y EL MCC

Es la siguiente tabla (Tabla 4.3) se muestra la conexión entre el MCC y los distintos tipos de mantenimiento.

Tabla 4.3. *El MCC y los Tipos de Mantenimientos*

TIPO DE MANTENIMIENTO	RELACIÓN CON DEL MCC
NO MANTENIMIENTO	No presenta alineación con el MCC
CORRECTIVO	El MCC busca minimizar las intervenciones de mantenimiento correctivo mediante el análisis y la prevención de fallas. Mientras que el mantenimiento correctivo puede ser reactivo y costoso, el MCC promueve una planificación proactiva que busca realizar mantenimiento antes de que ocurran las fallas, lo que reduce la necesidad de intervención correctiva.
PREVENTIVO	El MCC puede considerarse una evolución del mantenimiento preventivo. Mientras que el mantenimiento preventivo se basa en realizar tareas programadas sin considerar el estado real del equipo, el MCC se centra en el análisis del estado del equipo y en la identificación de tareas de mantenimiento que realmente aporten valor, optimizando así el tiempo y los recursos.
PREDICTIVO	El mantenimiento predictivo complementa al MCC al proporcionar datos que permiten una mejor toma de decisiones sobre el momento y el tipo de intervenciones de mantenimiento que se deben realizar. En este enfoque, se usan herramientas de monitoreo, como análisis de vibraciones o termografías, para anticipar problemas antes de que se conviertan en fallas. El MCC también puede implementar mantenimiento predictivo como parte de su estrategia para mejorar la confiabilidad.
PROACTIVO	Tanto el mantenimiento proactivo como el MCC tienden hacia la mejora continua y la confiabilidad. Ambas estrategias buscan entender las causas de las fallas y desarrollan enfoques para mitigar estos problemas en lugar de solo reaccionar a ellos. El MCC incorpora el análisis de causas raíz y la evaluación de riesgos, lo que se alinea con los principios del mantenimiento proactivo.

CAPÍTULO 5. FUNDAMENTOS DE LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO PARA LA EXCELENCIA EN EL MANTENIMIENTO DEL ARMP

Este capítulo presenta los conceptos esenciales de la Gestión del Conocimiento (GC), destacando su importancia crítica para optimizar las operaciones de mantenimiento, superar desafíos inherentes a la rotación de personal militar o baja de personal y capitalizar la vasta e invaluable experiencia existente dentro de la organización. Se busca proporcionar un marco conceptual que sustente las estrategias de implementación detalladas posteriormente.

> *El aprendizaje más importante proviene de la experiencia directa. Para crear conocimiento, lo que se aprende de otros y las habilidades compartidas deben volverse internas, es decir, reformarse, enriquecerse y traducirse para que se ajusten a la identidad e imagen de la organización. (Nonaka y Takeuchi. 1991)*

5.1. LA CREACIÓN Y GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO ORGANIZACIONAL

En el ámbito de la gestión del conocimiento, se sostiene que este no es un simple recurso organizacional, sino un proceso inherente a los individuos que lo generan. La creación del conocimiento presenta tres características fundamentales:

- La necesidad de ***articular y expresar*** aquello que a menudo es implícito o difícil de verbalizar (el "saber hacer").
- El imperativo de ***difundir y compartir*** este conocimiento para que trascienda al individuo.
- La capacidad de ***transformar la ambigüedad y la experiencia*** en información comprensible, accesible y aplicable por otros.

Aunque se discuta la construcción de un conocimiento organizacional, este depende de la iniciativa individual y de las interacciones dentro de grupos colaborativos. El caos y la incertidumbre son aliados en este proceso, ya que favorecen la experimentación y la identificación de nuevas soluciones. Sin embargo, la dependencia excesiva de un solo individuo como portador de conocimiento experto plantea serios desafíos, especialmente cuando surgen vacantes o se produce la rotación de operarios, situación cotidiana del personal militar de la Armada Argentina. Para mitigar esta situación se requiere:

- una multiplicación de los canales de comunicación.

- un aumento en la frecuencia y calidad de los intercambios entre los integrantes de un equipo.

Este flujo constante de datos e interacciones genera información que, al ser interpretada y aplicada, se convierte en conocimiento práctico. No obstante, este conocimiento a menudo permanece tácito o confinado a la esfera individual si no existen sistemas y una cultura que fomenten su explicitación, recolección y socialización.

5.2. EL DESAFÍO DE LA CULTURA ORGANIZACIONAL Y EL ROL DEL LIDERAZGO

La cultura organizacional, a menudo, valora los resultados tangibles, pero rara vez se indaga sobre los procesos que llevaron a dichos logros. Como consecuencia, el conocimiento adquirido tiende a quedar encapsulado en las experiencias individuales, limitando su potencial para enriquecerse y ser compartido. Por lo tanto, es esencial que los líderes, especialmente aquellos con personal a cargo, asuman el rol de facilitadores en la producción y difusión del conocimiento dentro de la organización. En este sentido, los líderes en todos los niveles y en especial los mandos medios, desempeñan un papel fundamental en este proceso, pues su ubicación intermedia les permite adoptar una visión global de la institución sin verse absorbidos por la gestión operativa diaria. En contraste, la alta dirección se enfoca en la articulación de objetivos institucionales y tiende a mantenerse distante de la ejecución práctica.

5.3. DIFERENCIANDO INFORMACIÓN Y CONOCIMIENTO: el Valor del Contexto y la Acción

Es importante diferenciar entre conocimiento e información. Mientras que la información se presenta como un flujo de datos o mensajes, el conocimiento se funda en creencias y compromisos. Para que el conocimiento pueda ser compartido dentro de la organización, resulta imprescindible su explicitación. Cuando un individuo crea conocimiento, muchas veces, no se da cuenta.

5.3.1. LOS DOS ROSTROS DEL CONOCIMIENTO: TÁCITO Y EXPLÍCITO

El conocimiento se manifiesta principalmente en dos formas:

- el ***tácito***, de naturaleza subjetiva, derivado de la experiencia y adquirido de manera inconsciente.
- el ***explícito***, de carácter objetivo y racional, formulado en documentos o planes de acción.



La conversión del conocimiento tácito en explícito constituye un mecanismo clave para su difusión en el entorno organizacional y la consolidación del aprendizaje institucional.

Dada la complejidad de las organizaciones públicas, que suelen estar compuestas por múltiples miembros, la gestión del conocimiento se debe trabajar dentro de unidades más pequeñas, como coordinaciones o programas específicos. Este enfoque permite manejar de manera más efectiva las dinámicas de creación y difusión del conocimiento. En este contexto, se establece un ciclo que permite que el conocimiento se interiorice, se socialice, se exteriorice y, finalmente, se combine con otras formas de conocimiento, fomentando así la innovación y la mejora continua.

5.3.2. LA ESPIRAL DEL CONOCIMIENTO. MODELO SECI

Nonaka y Takeuchi[1] proponen un modelo teórico de creación del conocimiento que comprende las siguientes fases:

1. Compartir el conocimiento tácito (SOCIALIZACIÓN): se comparte el conocimiento tácito entre individuos a través de la interacción directa y la experiencia compartida, muchas veces sin que se tenga plena conciencia de ello.

2. Crear conceptos (EXTERIORIZACIÓN): esta etapa implica la conversión de conocimiento tácito a explícito a través de diálogos y razonamientos que permiten el desarrollo de nuevos conceptos operativos.

3. Justificar los conceptos (COMBINACIÓN): es el momento de validar las ideas generadas, sometiéndolas a discusión y crítica, asegurando su viabilidad y cristalizándose así en conocimiento, producto o servicio.

4. Construir un arquetipo (INTERIORIZACIÓN): en este punto es donde se crea el arquetipo que pueden ser procesos, procedimientos, nuevas funciones o nuevos servicios. Los individuos asimilan el conocimiento explícito a través de la práctica, convirtiéndolo nuevamente en conocimiento tácito, aplicable a nuevas situaciones.

Finalmente, el conocimiento creado se comparte y difunde por los miembros de la organización, reiniciando así el ciclo de aprendizaje en la etapa de **socialización.**

Con todo esto, cada vez que damos una vuelta a este ciclo creamos nuevo conocimiento, incrementando de este modo el conocimiento organizacional.

[1] Ikujiro Nonaka (1935-2025) y Hirotaka Takeuchi. Profesores japoneses, teóricos y expertos organizacionales. Desarrolladores de la espiral del conocimiento o modelo SECI Socialización, Exteriorización, Combinación e Interiorización, en la década de 1990.



El resultado, una espiral (Figura 5.1) que va extendiéndose sistemáticamente conforme participan más y más individuos y que constituye la pieza clave en el modelo de aprendizaje en las organizaciones.



Figura 5.1.*Ciclo SECI. Espiral del Conocimiento*

Este enfoque sistemático evita que la organización caiga en la rigidez burocrática y promueve un proceso de mejora continua a través de la colaboración, el intercambio de experiencias y la diversidad de perspectivas.



5.4. BARRERAS EN LA CREACIÓN DEL CONOCIMIENTO ORGANIZACIONAL

La creación de conocimiento en las organizaciones está sujeta a diversas barreras que pueden clasificarse en dos categorías principales: barreras *individuales* y barreras *organizacionales*.

Las barreras individuales surgen cuando los individuos enfrentan situaciones nuevas e informaciones que desafían su comprensión habitual. Si bien este contexto podría ser propicio para la generación de conocimiento, muchas veces se recurre a las rutinas habituales y experiencias pasadas, generando una falta de respuestas efectivas. Esta ineficacia ante lo desconocido provoca inseguridad y una resistencia al cambio, ya que se percibe la ambigüedad como una amenaza que desencadena un sentimiento de pérdida de identidad. En lugar de abordar estos desafíos creativamente, es muy común desarrollar defensas, como responsabilizar a otra persona por lo que no está saliendo acorde a lo planeado, lo cual obstaculiza la búsqueda activa de soluciones.

Por otro lado, las barreras organizacionales suelen manifestarse a través de estructuras rígidas, sistemas de evaluación del desempeño y estilos de liderazgo autoritarios que limitan la expresión abierta de ideas. Un elemento crítico en este contexto es la forma en que se gestionan los errores y fracasos. Las organizaciones que penalizan severamente los errores tienden a fomentar un entorno en el que los empleados prefieran evitar la acción por miedo a repercusiones, optando en cambio por el análisis y la deliberación sin fin.

Otra barrera significativa es la tendencia a aferrarse a prácticas establecidas, reflejada en la expresión “así lo hacemos siempre”. En el sector público, esto se ve intensificado por normativas rígidas que dictan procedimientos específicos y limitan la capacidad de reflexión y cambio. Esta falta de flexibilidad se traduce en una dificultad para crear conocimiento, especialmente cuando la organización se obsesiona con métricas cuantificables como resultados, plazos y presupuestos. Si bien estos elementos son elementales para medir el desempeño organizacional, limitarse a ellos puede resultar insuficiente, ya que el conocimiento va más allá de la mera información y requiere una interpretación y contexto individuales.

5.5. PREPARANDO EL TERRENO: CONFIANZA, COLABORACIÓN Y MICROCOMUNIDADES

Para cultivar un ambiente propicio para la gestión del conocimiento, se necesitan condiciones que fomenten la confianza y el diálogo constructivo. Las organizaciones deben desalentar la competencia interna y promover una cultura de colaboración, donde los individuos se sientan cómodos al compartir sus ideas y recibir retroalimentación constructiva. La noción de que "el conocimiento es poder" a menudo obstaculiza la creación de lazos sólidos y colaborativos entre los miembros de un equipo, impidiendo el intercambio fluido de información y experiencias.

> *"Convertir el conocimiento en acción es más sencillo en las organizaciones que han suprimido de su cultura el temor y la competencia interna. La idea de que la tensión inherente a la competencia interna es imprescindible para alcanzar altos niveles de desempeño confunde motivación con competición. Esta perspectiva pone el acento en el conflicto interno, acompañado por un afán triunfador en las contiendas internas, en lugar de ponerlo en el mejoramiento del desempeño de la organización en su conjunto y en el triunfo de esta en la batalla que debe librar en los mercados"* (*Jeffrey Pfeffer y Robert Sutton. 2005)*

Este ambiente se construye sobre pilares fundamentales que transforman la manera en que los individuos interactúan y aprenden juntos. Entre estos se pueden mencionar:

- **La confianza y la seguridad psicológica:** el primer paso es desterrar la noción de que "el conocimiento es poder" (y por ende, debe ser celosamente guardado). En su lugar, se debe instaurar la comprensión de que "el conocimiento compartido es poder organizacional multiplicado". Esto implica fomentar una cultura donde la colaboración prime sobre la competencia interna destructiva.

  Los individuos deben sentirse en un entorno de cómodo, donde puedan compartir ideas libremente, expresar dudas, admitir errores constructivamente y tanto ofrecer como recibir retroalimentación, sin temor a represalias, juicios negativos o la pérdida de estatus.

  La confianza mutua es la base insustituible para cualquier esfuerzo colaborativo. Esta confianza se nutre de la empatía activa: la capacidad de ponerse en el lugar del otro, comprendiendo genuinamente sus necesidades, perspectivas y emociones. En una organización, esto se traduce en estar dispuesto a ayudar, permitir que otros aprendan

de sus errores sin penalizaciones desmedidas y reconocer la interdependencia de los roles.

Paralelamente, se requiere cultivar la valentía intelectual: la disposición de cada miembro a someter sus propias ideas y argumentos al escrutinio constructivo del equipo, debatir abiertamente y estar receptivo a que las propias perspectivas puedan ser desafiadas, enriquecidas o incluso refutadas en pos de una mejor solución colectiva.

- **El poder de las microcomunidades de conocimiento (MdC):** dentro de este fértil terreno de confianza y colaboración, la formación y el fomento de **Microcomunidades de Conocimiento** emergen como una estrategia organizacional sumamente poderosa para la gestión y creación dinámica del conocimiento. Una Microcomunidad de Conocimiento es un grupo de personas que comparten una preocupación, un conjunto de problemas recurrentes o una pasión sobre un tema o dominio específico y que profundizan su conocimiento y pericia en esta área a través de una interacción continua y voluntaria. Estas comunidades se caracterizan por tres elementos estructurales clave:

1. **Dominio:** un área de interés o conocimiento compartido que les da identidad y foco. En el ARMP, esto podría ser el "mantenimiento avanzado de sistemas de propulsión de las OPV", "técnicas de diagnóstico no destructivo", "optimización de la logística de repuestos críticos" o "aplicación de herramientas de análisis de causa raíz".

2. **Comunidad:** miembros que interactúan, construyen relaciones de confianza y respeto mutuo, aprenden juntos y desarrollan un sentido de pertenencia. Es el pegamento social que mantiene unida a la comunidad.

3. **Práctica:** un repertorio compartido de recursos, que incluye experiencias, historias de éxito y fracaso, herramientas, artefactos, metodologías, procedimientos y formas de abordar problemas recurrentes. Es a través de esta práctica compartida que el conocimiento se crea, se valida, se refina y se transmite.

En el contexto específico del ARMP, el fomento activo de MdC puede ser invaluable. Estas pueden surgir naturalmente alrededor de un tipo de equipamiento complejo, un proceso de mantenimiento particularmente desafiante, o un área de mejora continua identificada. Su gran valor radica en que son espacios ideales para la



socialización del conocimiento tácito (ese "saber hacer" de los más experimentados), la exteriorización colaborativa de soluciones innovadoras a problemas concretos y la rápida diseminación de buenas prácticas, todo ello impulsado directamente por los expertos y practicantes del día a día.

- **Fomentando la experimentación y el aprendizaje continuo:** un entorno que no solo tolera sino que celebra la experimentación razonada (incluso cuando algunos intentos no alcanzan el éxito esperado) y que consistentemente ve los errores no como fracasos sino como oportunidades cruciales de aprendizaje, es vital para la innovación. Esto permite a los individuos y a los equipos adaptarse con mayor agilidad a los inevitables cambios del entorno, proponer y probar nuevas soluciones, y contribuir de manera más significativa a los objetivos organizacionales. En el ARMP, por ejemplo, esto podría traducirse en dar espacio controlado para probar un nuevo software de planificación de mantenimiento, una técnica de reparación alternativa en un componente no crítico, o un método diferente para el análisis de vibraciones, para luego compartir abiertamente los hallazgos y lecciones aprendidas con la organización, independientemente del resultado final.

Al integrar estos elementos (confianza, colaboración activa, el dinamismo de las microcomunidades y una cultura que abraza el aprendizaje a través de la experimentación) el ARMP transformaría significativamente su capacidad para gestionar y potenciar su capital intelectual, sentando las bases para una mejora continua y sostenible en sus operaciones de mantenimiento.

5.6. CONDICIONES QUE FACILITAN LA CREACIÓN DE CONOCIMIENTO

La dinámica de la creación de conocimiento está impulsada por una serie de factores (figura 5.2) que la hacen posible:

- *Visión compartida*
- *Autonomía individual y de equipo*
- *Redundancia de información*
- *Fluctuación y caos creativo*
- *Diferenciación organizacional*



Figura 5.2. *Factores del Conocimiento Organizacional*

5.7. DIMENSIONES Y METODOLOGÍAS CLAVE PARA LA PRÁCTICA DE LA GC

Para que la creación de conocimiento se materialice en mejoras tangibles, se deben considerar ciertas dimensiones operativas y metodologías facilitadoras:

- **Evaluación continua del entorno:** la organización y en particular los equipos de mantenimiento, deben desarrollar la capacidad de evaluar constantemente las oportunidades y amenazas (nuevas tecnologías, obsolescencia de equipos, cambios en normativas, lecciones de incidentes) y asegurar una comprensión compartida de los problemas a resolver.
- **Valorar la diversidad y el acceso a la información:** promover equipos heterogéneos en competencias y asegurar que todos tengan acceso equitativo a la información relevante para sus tareas y para la toma de decisiones.

- **Flexibilidad estructural y procesos ágiles:**
    - Una estructura organizacional que favorezca la fluidez comunicacional y la colaboración por sobre la rigidez jerárquica y el control administrativo excesivo.
    - Establecer límites temporales razonables para la presentación de nuevas ideas o la resolución de problemas, evitando la parálisis por análisis y las reuniones improductivas.
    - Fomentar la creación de "unidades sin límites" o equipos interfuncionales que rompan los silos departamentales.
    - Implementar redes organizacionales (formales e informales) que faciliten el intercambio de ideas entre diferentes áreas. *Por ejemplo, una red de especialistas en motores diésel que incluya personal de diferentes talleres o incluso de diferentes buques.*
    - Considerar la rotación de puestos (donde sea viable y beneficioso) para ampliar la comprensión de los roles y diversificar el aprendizaje. *Un técnico podría pasar un tiempo en el almacén de repuestos para entender mejor las tareas logísticas.*
- **El concepto de "Error Inteligente":** no todos los fracasos son iguales. Existen "errores inteligentes" que surgen de decisiones bien intencionadas y fundamentadas, tomadas en contextos con incertidumbre inherente, de los cuales se extraen aprendizajes valiosos. Es crucial que la organización distinga estos de los errores por negligencia o incompetencia. *Por ejemplo, probar una nueva técnica de soldadura en una pieza no crítica que resulta no ser la óptima, pero que enseña mucho sobre las limitaciones del material o la técnica.*
- **Sensibilización cultural continua:** mantener una comunicación constante sobre el valor del conocimiento, diferenciándolo de la mera capacitación (que es un componente, pero no el todo) e integrándolo como parte del trabajo cotidiano y la evaluación del desempeño.

5.8. ROLES CLAVE: LOS ACTIVISTAS DEL CONOCIMIENTO

La figura del "activista del conocimiento" o "facilitador del conocimiento" es fundamental. Son personas (no necesariamente con un cargo formal) que, por su interés y habilidades, facilitan y coordinan activamente la creación y el intercambio de conocimiento. Sus funciones pueden incluir:

- Identificar, conectar y dinamizar las microcomunidades de práctica.
- Promover la circulación de conocimiento relevante y las mejores prácticas.

- Organizar o facilitar eventos periódicos para el intercambio de experiencias (reuniones de lecciones aprendidas, talleres, etc.).
- Fomentar un ambiente de confianza y apertura.
- Actuar como "traductores" entre diferentes lenguajes técnicos o departamentales.
- Evitar el control excesivo, enfocándose en la facilitación y el empoderamiento.

5.9. LA IMPORTANCIA DE LAS INTERACCIONES EFECTIVAS

Gran parte del conocimiento tácito se comparte y se crea a través de conversaciones, tanto formales como informales. Es importante que:

- Se creen espacios y momentos para estas interacciones.
- Las reuniones se diseñen para favorecer el diálogo y el intercambio genuino de ideas y no solo como exposiciones formales de datos.
- Se utilicen metodologías participativas (tormentas de ideas, mapas mentales, análisis de causa raíz colaborativos) para extraer conocimiento y generar nuevas soluciones.
- Se incentive la creación de un vocabulario común y conceptos propios que reflejen el aprendizaje y la evolución del conocimiento.

Al abordar proactivamente las barreras y cultivar sistemáticamente las condiciones y metodologías facilitadoras, el ARMP puede transformar su capacidad de gestión del conocimiento, convirtiéndola en una ventaja estratégica para el cumplimiento de su misión.



La creación de conocimiento no es un entramado que interconecta estrategias, actitudes y estructuras. La promoción de un ambiente colaborativo, flexible y sin barreras jerárquicas, la formación de microcomunidades y el empoderamiento de los activistas del conocimiento son elementos críticos para superar los obstáculos existentes y construir una cultura organizacional que valore y potencie la creación del conocimiento. Se requiere un enfoque dinámico y adaptable que prepare a la organización para el aprendizaje continuo, donde el conocimiento fluya y se traduzca en acción e innovación efectiva.

5.10. CAUSAS Y EFECTOS DEL FRACASO DE LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

El éxito en la gestión del mantenimiento no depende únicamente de la implementación de técnicas o tecnologías innovadoras, sino también de una adecuada

gestión del conocimiento que permita compartir, preservar y aplicar la información crítica para la operación y la mejora continua. Sin embargo, muchas iniciativas en este ámbito enfrentan serias dificultades que desembocan en su fracaso, dando lugar al florecimiento de los respectivos efectos.

5.10.1. FACTORES DE FALLA EN LA GESTION DEL CONOCIMIENTO

- **Falta de indicadores claros y medibles:** la ausencia de métricas precisas impide evaluar el impacto real de la gestión del mantenimiento y dificulta la justificación de inversión y recursos.
- **Débil respaldo de directivos**: sin un compromiso visible y constante del equipo directivo, las iniciativas tienden a perder prioridad ante otras demandas operativas.
- **Planificación y diseño insuficientes**: la falta de una estrategia clara, integradora y alineada con los objetivos organizacionales conduce a esfuerzos dispersos y poco efectivos.
- **Limitada capacitación del personal:** los gestores y técnicos requieren formación continua no solo en aspectos técnicos, sino también en habilidades para la gestión del conocimiento.
- **Cultura organizacional resistente al cambio:** en muchas organizaciones, prevalecen actitudes individualistas o conservadoras que dificultan la colaboración y el intercambio abierto de información.
- **Estructura organizativa rígida o fragmentada:** la división excesiva entre departamentos o niveles jerárquicos impide la fluidez y el acceso oportuno al conocimiento.
- **Falta de integración tecnológica:** disponer de tecnología innovadora es insuficiente si esta no se integra correctamente con los procesos y hábitos de trabajo.
- **Escasa comunicación interna:** problemas de comunicación pueden generar duplicidad de esfuerzos, pérdida de información importante o falta de alineación en las prioridades.
- **Inadecuada gestión del cambio:** las iniciativas de innovación en mantenimiento requieren procesos sólidos para manejar la transición, resistencias y asegurar la adopción efectiva.

5.10.2. EFECTOS DEL FRACASO EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

- **Pérdida de conocimiento crítico y experiencia:** la rotación, jubilación o traslado de personal sin una adecuada transferencia de conocimientos genera vacíos operativos.
- **Baja participación y compromiso del personal:** sin incentivos claros ni un ambiente de confianza, el personal no se involucra en actividades de gestión del conocimiento.

- **Información desactualizada o irrelevante:** el material técnico o los procedimientos pueden quedar obsoletos y no ajustarse a las necesidades reales del mantenimiento.
- **Sobredimensionamiento de procedimientos formales:** el exceso de burocracia o la rigidez metodológica limitan la flexibilidad y la rapidez para adaptar el conocimiento.
- **Subutilización o mal uso de la tecnología:** herramientas que no responden a las necesidades reales o que no cuentan con el apoyo para su uso efectivo terminan siendo rezagadas.
- **Presupuestos insuficientes y costos no controlados:** la falta de inversión adecuada genera gastos imprevistos y dificulta la sostenibilidad de los programas.
- **Falta de responsabilidad y propiedad clara:** sin asignar responsables concretos, se generan vacíos en el seguimiento y mejora continua del conocimiento aplicado al mantenimiento.

5.11. IMPLEMENTACIÓN DE LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

A continuación se presenta brevemente las pautas a seguir para la implementación de la gestión del conocimiento en el ARMP, enfocado en potenciar la estructura y mejorar el rendimiento en el sector del mantenimiento a través de la sistematización y el intercambio de conocimientos, para lograr transformar la cultura organizativa, optimizar procesos y crear valor sostenido.

Este plan se divide en tres etapas:

I. Marco conceptual: presentación del tema, conceptos, importancia y objetivos
II. Estrategia propiamente dicha: presentación de cinco fases de implementación, indicado el intervalo de tiempo estimado
III. Conclusión: evidenciar los beneficios de una correcta aplicación

I. MARCO CONCEPTUAL

Importancia de la gestión del conocimiento

La gestión del conocimiento en el ámbito del mantenimiento busca recopilar, organizar y compartir tanto el conocimiento explícito (documentado) como el tácito (experiencias y habilidades). Este enfoque no solo mejora el desempeño de los equipos, sino que también permite la innovación en procesos y soluciones.

Objetivos de la implementación

Optimización de procesos: mejorar la eficiencia en las operaciones de mantenimiento a través del uso del conocimiento compartido.
Innovación continua: fomentar un ambiente que incentive la creatividad y el desarrollo de nuevas soluciones técnicas.
Desarrollo del talento humano: capacitar al personal en nuevas metodologías y tecnologías aplicadas al mantenimiento.

II. ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN

Fase 1: diagnóstico y planeación (0-3 meses)

Evaluar el estado actual: realizar un diagnóstico de las capacidades de gestión del conocimiento existentes (esto incluye entrevistas con el personal y la revisión de documentos).
Definir el alcance y objetivos: establecer metas claras y específicas relacionadas con la gestión del conocimiento, alineadas con los objetivos estratégicos de la organización.
Identificación de recursos y herramientas: seleccionar herramientas tecnológicas que faciliten la captura y el intercambio de conocimiento (como software de gestión del conocimiento, plataformas de colaboración, etc.).

Fase 2: diseño de la estructura (4-6 meses)

Crear un comité de gestión del conocimiento: establecer un equipo multidisciplinario responsable de liderar la implementación, fomentar la participación y establecer normas de operación.
Desarrollo de una plataforma de conocimiento: implementar un sistema que albergue manuales, buenas prácticas, lecciones aprendidas y otros documentos relevantes accesibles a todos los empleados.
Definir roles y responsabilidades: determinar quién será responsable de cada componente del proceso de gestión del conocimiento, incluyendo la recopilación, almacenamiento y difusión de información.

Fase 3: capacitación y sensibilización (7-9 meses)

Capacitación inicial: ofrecer talleres y seminarios sobre gestión del conocimiento, resaltando su importancia y beneficios, así como la manera en que los empleados pueden contribuir.
Entrenamiento en herramientas tecnológicas: formar al personal en el uso de la plataforma de conocimiento y otras herramientas digitales.
Promover una cultura de aprendizaje: organizar actividades que fomenten la colaboración y el intercambio de información entre departamentos, como brainstorming, análisis causa raíz y sesiones de feedback.

Fase 4: *implementación de procesos* (10-12 meses)

Implementar procesos de captura de conocimiento: establecer procedimientos claros para que el personal registre sus aprendizajes y experiencias después de cada proyecto de mantenimiento.
Desarrollar microcomunidades de práctica: crear grupos dentro de la organización donde los empleados se reúnan regularmente para compartir experiencias, resolver problemas y desarrollar nuevas ideas.
Facilitar la interacción entre equipos: gestionar la creación de redes de trabajo interdepartamentales para el intercambio de conocimientos no solo en el mantenimiento, sino también en otras áreas técnicas y administrativas.

Fase 5: *evaluación y ajustes* (13-15 meses)

Monitoreo del progreso: implementar indicadores clave de rendimiento (KPI) para medir el éxito de la gestión del conocimiento, como la frecuencia de uso de la plataforma de conocimiento y la cantidad de interacciones entre equipos.
Ajustar estrategias: basándose en el feedback recibido y utilizando las herramientas adquiridas en las capacitaciones, realizar ajustes en los procesos de gestión del conocimiento. Esto puede incluir modificaciones en la formación, en la plataforma utilizada, o en las metodologías de trabajo.

III. CONCLUSIONES

Beneficios de la implementación

Esta implementación de la gestión del conocimiento puede transformar significativamente la estructura y operatividad del ARMP. Siguiendo este enfoque estructurado, se puede asegurar que tanto el conocimiento explícito como el tácito se aprovechen al máximo para impulsar la innovación, mejorar la eficiencia operativa y fomentar un ambiente colaborativo.
El compromiso continuo de los líderes organizacionales seleccionados y la participación activa de todos los empleados serán la clave para el éxito en este proceso de transformación.

CAPÍTULO 6. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN EL ARMP

La implementación de un plan de mantenimiento efectivo y orientado al intercambio de conocimientos requiere una estrategia clara que abarque desde la aprobación inicial hasta el seguimiento continuo.

A continuación, se detallan las fases clave para garantizar una transición eficiente y sostenible:

1. **Presentación y aprobación ante la jefatura**

   El primer paso es presentar el plan ante la jefatura del ARMP para informar, con criterios sólidos y fundamentados, los beneficios de innovar el sistema de mantenimiento actual y los riesgos que implica no adoptarlo. En esta etapa se expondrán los problemas actuales, las oportunidades de mejora y el valor de gestionar el conocimiento dentro del mantenimiento. Ya obtenida la aprobación y el apoyo de la jefatura, se podrá avanzar hacia la siguiente fase.

2. **Formación y capacitación**

   La capacitación es la columna vertebral del plan de innovación. Se diseñarán programas formativos (utilizando el contenido desarrollado en el presente TIF) y se dictarán a todos los niveles jerárquicos:

   Primero, a jefes y encargados de área, quienes serán los agentes de cambio. Sería importante la presencia de jefes de otros destinos, como de las OPV, dado que su personal podría utilizar sin dificultad técnicas de análisis de fallas (planilla de control, histogramas, etc.) e innovar sobre su organización en temas referidos a gestión de mantenimiento.

   Segundo, a subjefes y supervisores, para la correcta supervisión y seguimiento.

   Finalmente, al personal operativo para que internalice la nueva metodología y la gestión del conocimiento.

   Se deberá promover la capacitación continua para mantener actualizado al equipo.

3. **Gestión del cambio y comunicación interna**

   Para garantizar una implementación exitosa, es fundamental gestionar el cambio con transparencia y participación. Se establecerán las vías formales de comunicación interna (reuniones, correo electrónico, intranet), se establecerán espacios de diálogo donde el personal pueda expresar dudas y aportar ideas y se definirán las políticas de

mantenimiento bajo las cuales se trabajará y los métodos de análisis de fallas a utilizar, según sector y conveniencias. Además, se deberá efectuará la visualización de obstáculos, donde los encargados de cada área plantearán los problemas y posibles trabas a resolver para la implementación del nuevo plan de trabajo. Constantemente se difundirá el propósito y los avances del plan para fomentar la aceptación y compromiso**.**

Esta reunión, con aporte de ideas, objetivos, conflictos y soluciones, ya es un avance hacia la nueva forma de organizar las tareas. Por ejemplo, se pondrían en práctica técnicas como “brainstorming” o “los 5 ¿por qué?”.

En paralelo, se difundirá constantemente el propósito y los avances del plan para fomentar la aceptación y compromiso del personal.

4. Organización de microcomunidades y estructura organizativa

Para optimizar el flujo, la captura y la reutilización del conocimiento, se crearán microcomunidades transmisoras del conocimiento en cada área del Arsenal. Cada uno de estos grupos contará con un líder facilitador (elegido o rotativo) encargado de dinamizar al grupo, promover la discusión, supervisar la documentación de lecciones aprendidas y el desarrollo de mejores prácticas específicas.

Asimismo, se formará una sección de coordinación interna para supervisar y canalizar las actividades de cada microcomunidad en cada área, además de un área central de gestión del conocimiento, que coordine globalmente el proceso a nivel ARMP.

5. Planificación detallada y cronograma

Se establecerá un cronograma claro y realista que contemple:

- Identificación y asignación de recursos necesarios: personal (horas/hombre dedicadas), presupuesto para capacitación y posibles herramientas, espacios físicos.
- Reuniones iniciales para identificar obstáculos, generar consenso y definir expectativas.
- Ajuste y ejecución de la capacitación escalonada del personal.
- Fase Piloto: implementación inicial en un área seleccionada para probar y refinar el plan.
- Formación oficial y puesta en marcha de las microcomunidades.
- Inicio progresivo de las nuevas modalidades de trabajo en todas las áreas.

- Diseño y comunicación de un plan de contingencia para anticipar y manejar posibles resistencias, dificultades técnicas o falta de recursos.
- Establecimiento de puntos clave y fechas límite para cada fase.
- Acuerdo de primeros pasos de la implementación del nuevo plan de trabajo.

6. Indicadores de desempeño y seguimiento continuo (KPIs)

Se definirán indicadores claros que serán monitoreados regularmente para realizar ajustes estratégicos según los resultados obtenidos. Estos podrían ser:

- **Eficiencia operativa:**
  - ✓ Reducción de tiempos de resolución de incidencias.
  - ✓ Disminución de la frecuencia de fallas recurrentes en equipos críticos.
- **Participación y compromiso:**
  - ✓ Nivel de asistencia y contribución en reuniones y microcomunidades.
  - ✓ Cantidad de aportes de mejora propuestos por el personal.
- **Cumplimiento de planificación:**
  - ✓ Adherencia a los cronogramas de mantenimiento.
  - ✓ Evaluación del impacto de la nueva metodología en la ejecución de tareas.
- **Satisfacción del personal:**
  - ✓ Percepción del cambio a través de encuestas internas.
  - ✓ Niveles de aceptación de la nueva gestión del conocimiento.

Estos indicadores serán evaluados periódicamente en las reuniones de seguimiento para realizar ajustes necesarios y fortalecer la mejora continua.

7. Plan de reuniones y coordinación del mantenimiento

Para asegurar un flujo de información eficiente, la resolución ágil de problemas y la consolidación de la gestión del conocimiento una vez implementado el nuevo plan, se establecerá un sistema de reuniones periódicas y estructuradas. Cada reunión tendrá objetivos claros, participantes definidos y un enfoque en la toma de decisiones y el aprendizaje colaborativo, seleccionando el método de resolución de problemas conveniente, según el trabajo a realizar:

- **Reuniones operativas diarias por en cada sector del ARMP**
  - **Frecuencia:** diaria, al inicio de la jornada.
  - **Participantes:** Jefe de División del área, encargados de cada sector y sub-sector, y personal operativo clave, según los temas a tratar.

- **Objetivos Principales:**
  - ✓ Coordinar las tareas y prioridades del día.
  - ✓ Formar o confirmar los equipos de trabajo para cada tarea.
  - ✓ Discutir y definir la metodología de trabajo para tareas específicas o nuevas.
  - ✓ Identificar y plantear soluciones rápidas a inconvenientes surgidos en tareas en curso o del día anterior.
  - ✓ Fomentar un breve intercambio de lecciones aprendidas del día anterior.
- **Resultado Esperado:** plan de trabajo diario claro, alineación del equipo, resolución temprana de obstáculos y captura de conocimiento inmediato. Se fomentará un registro ágil de los puntos clave y decisiones.

➢ **Reuniones tácticas semanales/quincenales de área (seguimiento y mejora)**

- **Frecuencia:** cada una o dos semanas (ajustable según el volumen y complejidad de tareas).
- **Participantes:** todos los encargados de las distintas secciones y sub-secciones de cada área. Podrá invitarse a personal operativo destacado para aportar perspectivas específicas y personal específico de otros destinos.
- **Objetivos Principales:**
  - ✓ Revisar el avance de las tareas planificadas y el cumplimiento de cronogramas.
  - ✓ Analizar los indicadores de desempeño del área.
  - ✓ Presentar y discutir problemas o desafíos recurrentes que requieran un análisis más profundo.
  - ✓ Compartir buenas prácticas y soluciones implementadas en diferentes sectores.
  - ✓ Identificar necesidades de capacitación o recursos adicionales.
  - ✓ Coordinar esfuerzos inter-sectoriales dentro del área.
- **Resultado Esperado:** visión integral del desempeño del área, identificación de tendencias, propuestas de mejora continua, y fortalecimiento de la colaboración interna del área. Se elaborará un acta con acuerdos y planes de acción.

➢ **Reuniones mensuales de coordinación inter-áreas y gestión del conocimiento ARMP**

- **Frecuencia:** mensual.
- **Participantes:** Jefatura del ARMP, jefes y encargados de sector de cada área del Arsenal, personal específico de otros destinos y un facilitador en gestión del conocimiento.

- **Objetivos Principales:**
  - ✓ Intercambiar información relevante sobre el estado de las tareas y proyectos transversales.
  - ✓ Presentar los principales inconvenientes y soluciones desarrolladas en cada área, con énfasis en aquellas que puedan ser de utilidad para otros sectores.
  - ✓ Analizar problemas complejos que requieran una perspectiva y colaboración interdepartamental.
  - ✓ Revisar indicadores globales del plan de mantenimiento y de la gestión del conocimiento.
  - ✓ Identificar y documentar lecciones aprendidas significativas a nivel ARMP.
  - ✓ El facilitador en gestión del conocimiento guiará parte de la reunión para asegurar la captura y estructuración del conocimiento compartido y promoverá técnicas de análisis colaborativo.

La últimas cuatro unidades adquiridas (OPV) y apostadas en la Base Naval Mar del Plata cuentan con equipamiento moderno, muy distinto al que veníamos acostumbrados en los otros buques, el cual requiere un mantenimiento multidisciplinario. Por ejemplo, los motores que traen ya no pueden ser mantenidos solo por la División Mecánica como se venía haciendo, dado que están conformados por varios componentes eléctricos y electrónicos, motivo por el cual se necesita personal de otras áreas del Arsenal para efectuar las tareas de mantenimiento correspondientes. Por este motivo se considera fundamental esta reunión con todas las áreas del ARMP, para el intercambio de conocimientos no solo técnicos, sino también de gestión. De esta manera se podrá realizar un mantenimiento integral de mayor eficiencia y optimizar la gestión de recursos.

- **Resultado esperado:** mejor coordinación inter-áreas, resolución de problemas complejos, diseminación de conocimiento técnico y de gestión a nivel ARMP y una base sólida para la toma de decisiones informada por la jefatura. Se generará un informe resumido y se actualizará la base de conocimiento.

➢ **Reuniones integrales de revisión estratégica y cultural**

- **Frecuencia:** semestral.
- **Participantes:** Jefatura del ARMP y los jefes y encargados de las distintas áreas que lo integran.

- **Objetivos Principales:**
  - ✓ Analizar en profundidad los resultados globales del plan de mantenimiento y los indicadores de desempeño acumulados.
  - ✓ Evaluar la efectividad de la estrategia de gestión del conocimiento y el funcionamiento de las microcomunidades.
  - ✓ Identificar tendencias a largo plazo, tanto en fallas como en desempeño.
  - ✓ Tomar decisiones sobre ajustes estratégicos al plan de mantenimiento, a las políticas o a la asignación de recursos.
  - ✓ Evaluar el progreso en la consolidación de una cultura de colaboración, aprendizaje constante e innovación.
  - ✓ Reconocer formalmente las contribuciones destacadas y las iniciativas de mejora.
- **Resultado Esperado:** ajustes estratégicos al plan global, fortalecimiento de la cultura organizacional deseada, y un plan de acción para el siguiente semestre enfocado en la mejora continua.

➢ **Consideraciones adicionales para todas las reuniones**

- **Agendas claras:** todas las reuniones contarán con una agenda distribuida con antelación.
- **Puntualidad y preparación:** se esperará que los participantes lleguen a tiempo y preparados.
- **Políticas de mantenimiento:** se implementará la estructura del tipo de mantenimiento seleccionado, respetando los temas expuestos en la capacitación.
- **Moderación efectiva:** especialmente en las reuniones más amplias, se designará un moderador para asegurar que se cumplan los objetivos y tiempos.
- **Documentación y seguimiento:** se establecerá un sistema simple pero efectivo para documentar decisiones clave, acciones acordadas, responsables y fechas de cumplimiento, asegurando su seguimiento.

El plan de organización del mantenimiento es extensivo a todo el personal (civil y militar), pero deberá estar fuertemente ligado al personal civil por su estabilidad y permanencia dentro del ARMP, con el propósito de evitar la pérdida de conocimiento institucional con los cambios y rotaciones del personal militar.

Un sistema de innovación eficiente del mantenimiento deberá respetar el ciclo de trabajo representado en la figura 6.1, donde se agrupan todos los conceptos mencionados en forma estructurada y puede visualizarse las etapas de formación, planificación, ejecución de tareas programadas y monitoreo de las mismas, analizando los resultados



parciales hasta llegar al objetivo establecido, indicando los momentos de retroalimentación (o Feedback), así como los de creación de conocimiento.

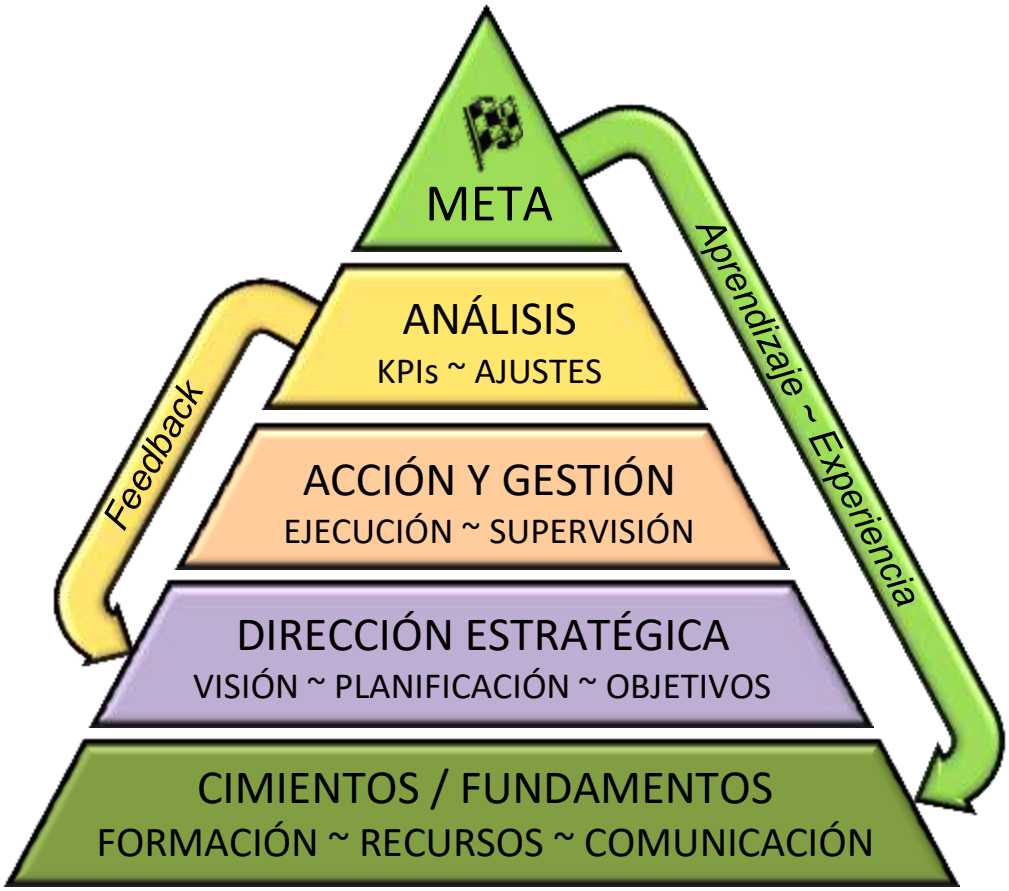


Figura 6.1. *Pirámide de la Eficiencia*

Este es un instructivo con los temas fundamentales para implementar una estrategia de trabajo eficiente, orientada hacia la creación del conocimiento y la mejora continua. Con su aplicación se mejoraría la capacidad del ARMP a futuro, se efectuarían los trabajos de mantenimiento de una manera eficiente y mejoraríamos nuestro objetivo principal: mantener en estado operativo a las unidades de las Fuerzas Armadas, el mayor tiempo posible, para el servicio de la comunidad.

CONLUSIÓN INTEGRADORA

Como se mencionó en las primeras líneas de este TIF, la vasta extensión del territorio argentino, con sus proyecciones marítimas, aéreas y antárticas, impone desafíos significativos para la salvaguarda de los recursos e intereses nacionales. En este contexto, la capacidad operativa sostenida de las unidades y activos de la Armada Argentina se erige como un pilar fundamental, siendo el rol del Arsenal Naval Mar del Plata (ARMP) de una relevancia estratégica primordial.

Como se ha detallado a lo largo de este trabajo, la innovación y optimización de su sistema de mantenimiento no es solo una necesidad técnica, sino un imperativo para el cumplimiento de la misión de la Armada y un claro ejemplo de la aplicación de la gestión de la innovación en un ámbito crítico.

Este estudio ha profundizado en los conceptos fundamentales del mantenimiento, su evolución, las diversas estrategias de gestión y el análisis crítico de fallas, siempre con la mirada puesta en su aplicabilidad y mejora dentro del ARMP. Un elemento transversal y de vital importancia que se ha destacado es la necesidad imperante de una sólida capacitación y formación continua del personal naval, así como la efectiva transmisión del conocimiento adquirido. Se espera que los conceptos, teorías y metodologías expuestos en este trabajo sirvan como base y material de referencia para el desarrollo de futuros programas de capacitación y para fomentar una cultura organizacional que valore y gestione activamente su capital intelectual, facilitando la vinculación tecnológica interna a través del aprendizaje continuo.

Si bien se exploraron metodologías avanzadas como el TPM y el MCC, reconociendo su potencial a largo plazo, sería extremadamente complejo y hasta contraproducente intentar implementarlas en forma directa e inmediata.

Las pautas propuestas para implementar un mantenimiento eficiente, como se han esbozado a lo largo de los capítulos, buscan guiar una transformación progresiva, comenzando por los cimientos de la formación y la comunicación y avanzando hacia una ejecución y supervisión más efectivas, siempre alimentadas por un ciclo de retroalimentación y ajuste que impulse la innovación continua.

La recomendación principal se orienta hacia la optimización progresiva del sistema de mantenimiento actual, enfocándose en la consolidación de un mantenimiento

preventivo robusto y la introducción gradual y metódica de técnicas de mantenimiento predictivo. Somos plenamente conscientes de que la implementación efectiva de este último, en particular, conlleva un desafío significativo y requerirá un compromiso sostenido en el tiempo para la recopilación y análisis sistemático de datos fiables.

Adicionalmente, para potenciar estas mejoras, sería altamente beneficioso considerar la incorporación de un sistema informático de gestión de mantenimiento (CMMS/GMAO) moderno y la renovación del hardware necesario (temas que han sido abordados por dos compañeros de curso y colegas del ARMP, cada uno en sus respectivos TIF). Estas herramientas tecnológicas no solo complementarían y facilitarían la innovación propuesta en este trabajo, sino que también serían cruciales para una gestión más eficiente de la información, los recursos y la transmisión del conocimiento técnico.

Comenzar este camino, especialmente con la dedicación que exige el desarrollo de un mantenimiento predictivo efectivo a partir de la consolidación de un preventivo sólido, puede parecer una tarea inalcanzable, demandando años de registros de información y datos fieles. No obstante, como sabiamente expresó Lao Tse (Siglo VI a.C.),

"*Un viaje de mil millas comienza con un primer paso*".

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CONSULTADAS

Armada Argentina. (s.f.). *Despliegue naval*. Gobierno de Argentina. Recuperado el 27 de marzo de 2025 de www.argentina.gob.ar/armada/despliegue-naval

Asociación Española de Normalización. (2011). *UNE-EN 13306:2011, Mantenimiento. Terminología del mantenimiento*. UNE.

Association Française de Normalisation. (2018). *NF EN 13306:2018, Maintenance Terminologie de la maintenance*. AFNOR.

Contreras Márquez, J. (2024, 24 de abril). *¿Quién debe planificar los trabajos de mantenimiento?* www.predictiva21.com/planificacion-mantenimiento

de la Rúa, I. A. (1997). *Mantenimiento: fuente de beneficios*. Marcombo.

Diagrama de Ishikawa. (s.f.). *Diagrama de Ishikawa: Herramienta para detectar posibles causas*. Recuperado el 3 de junio de 2024 de www.diagramadeishikawa.com

Frost, A. (2014, 25 de enero). *A synthesis of knowledge management failure factors*. Knowledge Management Tools. www.knowledge-management-tools.net/knowledge-management-failure-factors.html

García Soutullo, R. (s.f.). *Mantenimiento del buque: 1º Parte, Introducción al plan de mantenimiento*. www.mantenimientomundial.net/notas/Mantenimiento-buque.pdf

IBM. (s.f.). *¿Qué es el mantenimiento preventivo?* Recuperado el 15 de marzo de 2025, de www.ibm.com/es-es/topics/what-is-preventive-maintenance

Instituto Nacional de la Administración Pública. (2022). *Curso Gestión del conocimiento*. www.inap.gob.ar

Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2017). *Curso Mantenimiento industrial*. www.inti.gob.ar

International Organization for Standardization. (2014). *ISO 55001:2014, Gestión de activos -Sistemas de gestión - Requisitos*. ISO.

Ishikawa, K. (1982). *Guide to quality control*. Asian Productivity Organization.

Kepner, C. H., & Tregoe, B. B. (1981). *The new rational manager*. Princeton Research Press.

Lacroix, M. (2021). *La decadencia de las capacidades militares*. Zona Militar. www.zona-militar.com

Luders, N. (s.f.). *Cambios de mentalidad para lograr un mantenimiento eficiente en la industria*. www.mantenimientomundial.net/notas/Cambios-mentalidad-lograr-mantenimiento-eficiente-Industria.aspx

Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1999). *La organización creadora de conocimiento*. Oxford University Press.

Ohno, T. (1988). *Toyota production system: Beyond large-scale production*. Productivity Press.

Pfeffer, J., & Sutton, R. (2005). *La brecha entre el saber y el hacer*. Ediciones Granica.

Rocha, J. (s.f.). *Manual de mantenimiento*. Monografias.com. Recuperado el 24 de mayo de 2023, www.monografias.com/trabajos-pdf5/manual-mantenimiento-reparacion/manual-mantenimiento-reparacion#introducca

Roldán, J. J. (2024, 23 de enero). *Estos son los proyectos de reequipamiento más importantes de la Armada Argentina que están a la espera de definiciones en 2024*. Zona Militar. www.zona-militar.com

Tavares, L. (s.f.). *Administración moderna de mantenimiento*. Nuevo Polo Publicaciones.

Torres, L. (2004). *Mantenimiento: Su implementación y gestión*. Universitas

***Tipos de mantenimiento industrial*.** (s.f.). Monografias.com. Recuperado el 24 de mayo de 2024, www.monografias.com/trabajos105/tipos-mantenimiento-industrial/tipos-mantenimiento-industrial#mantenimia

Universidad Tecnológica Nacional. (2015). *Curso experto universitario en gestión del mantenimiento*. www.sceu.frba.utn.edu.ar

Von Krogh, G., Ichijo, K., & Nonaka, I. (2001). *Facilitar la creación de conocimiento*. Oxford University Press.

ANEXO A

Ejemplos de Aplicación de Métodos de Análisis de Fallas y MCC

Con el fin de complementar los conceptos teóricos desarrollados en este Trabajo Integrador Final, el presente anexo detalla ejemplos concretos de aplicación. Se incluyen demostraciones prácticas de diversos métodos de análisis de fallas, basados en experiencias y situaciones de mantenimiento reales, así como un caso ilustrativo y genérico de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC). Estos ejemplos buscan ofrecer una visión tangible de cómo estas herramientas pueden ser empleadas para mejorar la toma de decisiones y la eficiencia en la gestión de activos.

A.1. EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL HISTOGRAMA

El departamento de mantenimiento quiere analizar los tiempos de reparación del sistema de propulsión del Buque “ARA” para identificar oportunidades de mejora e innovar en su proceso.

Procedimiento:

- **Recopilación de datos**

  Se registran los tiempos (en horas) que tarda cada reparación del sistema de propulsión durante un período (por ejemplo, últimos 6 meses).
  Los datos pueden ser algo así: 2, 3, 5, 8, 2, 7, 4, 6, 9, 3, 5, 7 horas, etc.

- **Organización en intervalos**

  Deciden agrupar los tiempos en intervalos de 2 horas:
  0-2 horas / 3-4 horas / 5-6 horas / 7-8 horas / 9-10 horas / 11-12 horas

- **Frecuencias**

  El equipo cuenta cuántas reparaciones entran en cada intervalo:
  0-2 horas: 2 reparaciones
  3-4 horas: 4 reparaciones
  5-6 horas: 3 reparaciones
  7-8 horas: 3 reparaciones
  9-10 horas: 1 reparación

- **Construcción del histograma**

  Se genera el gráfico de barras (Figura A.1. En este ejemplo se utilizó el programa ‘Excel’) con los datos obtenidos:



Figura A.1. *Histograma del Sistema de Propulsión*

- Análisis

  Observan que la mayoría de reparaciones duran entre 3 y 8 horas, pero hay un par muy rápidas y una más larga (9-10 horas). Esto puede indicar variabilidad en la complejidad o falta de estandarización en el proceso.

- Decisión e innovación

  - Analizar las causas de las reparaciones más largas para ver si se pueden optimizar.
  - Establecer procedimientos estandarizados para reducir variabilidad.
  - Implementar herramientas o capacitación específicas para los casos más complejos.

Este análisis con histograma ayuda a visualizar claramente la distribución de tiempos de reparación y enfocar innovaciones para mejorar la eficiencia del mantenimiento del sistema de propulsión.

A.2. EJEMPLO DE PLAICACIÓN DEL ANÁLISIS DE PRIORIDAD DE REPARACIÓN (APR)

A continuación se presenta un ejemplo simplificado para tres elementos de la sala de máquinas del Buque “ARA”: motor principal, bomba de agua y sensor de temperatura.

Pesos (w) asignados a las variables (Tabla A.1), según los sistemas a analizar:

Tabla A.1. *Ponderación W de variables*

Variable	Peso (w)
(P) Producción	0.35
(C) Calidad	0.20
(M) Mantenimiento	0.15
(A) Medio Ambiente	0.10
(S) Seguridad	0.20

Ponderación (V) de 1 a 5 de las variables para cada elemento (Tabla A.2):

Tabla A.2. *Ponderación V de cada elemento*

Componente	Px0.35	Qx0.20	Mx0.15	Ax0.10	Sx0.20	Prioridad (P)
Motor Principal	5	4	3	2	5	4.15
Bomba de Agua	4	3	4	5	2	3.55
Sensor de Temp.	2	5	2	1	4	2.85

Interpretación: el motor principal, con mayor peso en producción y seguridad, tiene la prioridad más alta (4.15), por lo cual tendrá prioridad de mantenimiento.
La bomba de agua es siguiente (3.55), porque aunque tiene alto impacto ambiental, su menor peso reduce la prioridad.

El sensor de temperatura tiene prioridad menor (2.85) por su impacto reducido en producción y mantenimiento.

A.3. EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL METODO `GUT´

El equipo de mantenimiento desea establecer la prioridad de mantenimiento entre tres sistemas del Buque “A.R.A.”, utilizando la matriz GUT. Los participantes realizan la ponderación de las variables según el sistema (Tabla A.3) y obtienen los siguientes resultados promediados:

Tabla A.3. *Ponderación GUT de variables*

PROBLEMA	G (Grave)	U (Urgente)	T (Tendencia)	Puntuación GUT
Falla en bomba	4	5	3	60
Fuga en tubería	3	4	2	24
Desgaste en motor	2	3	4	24

En este ejemplo, la falla en la bomba tiene la puntuación GUT más alta (60), lo que indica que es el problema más crítico y urgente que requiere atención inmediata.

A.4. EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE PARETO

El departamento de mantenimiento del Buque “ARA” quiere identificar las fallas más frecuentes en el sistema de propulsión durante los últimos seis meses para enfocar mejoras innovadoras.

La intervención del equipo involucrado proporcionó los resultados mostrados en la Tabla A.4.

Tabla A.4. *Frecuencia de Fallas de Propulsión*

TIPO DE FALLAS	FRECUENCIA	% INDIVIDUAL	% ACUMULADO
Fallas en bomba de combustible	25	38,46	38,46
Fugas en sistema hidráulico	15	23,08	61,54
Problemas en turbina	10	15,38	76,92
Fallas en sistema eléctrico	7	10,77	87,69
Sobrecalentamiento del motor	5	7,69	95,38
Otros	3	4,62	100,00
	65		

Confección del diagrama de Pareto (Figura A.2.) utilizando el programa Excel:

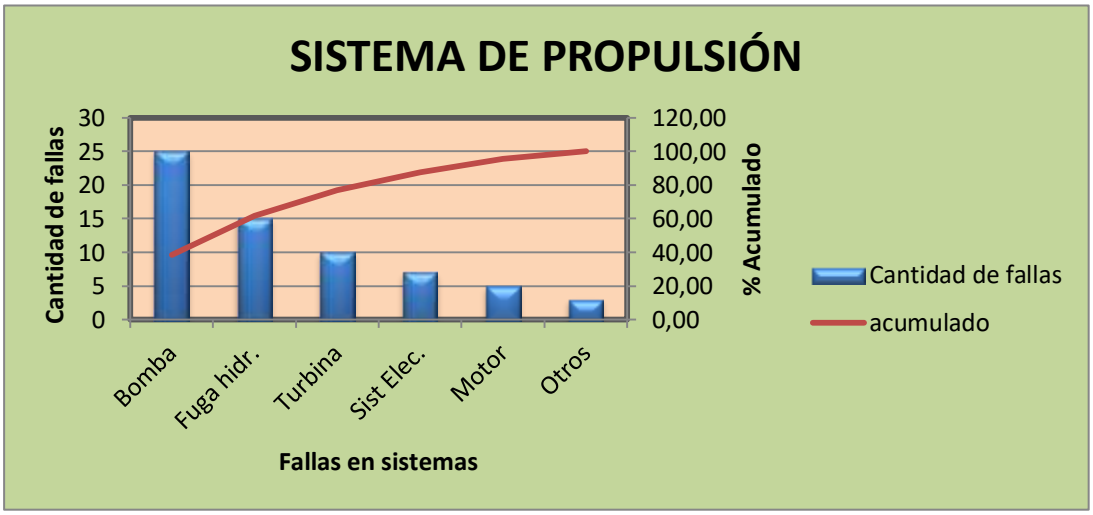


Figura A.2. *Diagrama de Pareto del Sistema de Propulsión*

Se observa que las fallas en la bomba de combustible y las fugas en el sistema hidráulico representan el 61.6% de las incidencias. Concentrar innovaciones en estos dos problemas (por ejemplo, sensores de detección temprana, mejoras en materiales o mantenimiento predictivo) ofrecería el mayor impacto en la reducción de fallas.

A.5. EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL MÉTODO `TORMENTA DE IDEAS´

Problema: en el Buque Oceanográfico "ARA" se presenta sobrecalentamiento frecuente, afectando el funcionamiento de los motores.

Proceso:

- ✓ Se reúne a técnicos y operadores para generar ideas sin filtros.
- ✓ Tras la lluvia de ideas, se priorizan causas y se revisan físicamente.
- ✓ Cusas seleccionadas:
    - intercambiador de temperatura obstruido
    - mala circulación del agua
    - sensor de temperatura defectuoso
    - filtro sucio
    - exceso de carga
    - ventilador dañado
    - aceite contaminado

Resultado: luego de la inspección de cada posible defecto seleccionado, se detectan intercambiadores de calor sucios y fallos en ventiladores, resolviendo con limpieza de enfriadores y reparación de ventiladores.

A.6. EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ (ACR)

Campo aplicativo: sistema de propulsión

El sistema de propulsión del Buque "ARA" presenta una falla recurrente que provoca la pérdida de potencia durante la navegación. Para resolver este problema mediante el Análisis de Causa Raíz (RCA), se sigue un proceso estructurado:

1. **Definición del problema:** el motor principal pierde potencia intermitentemente, afectando la operación segura y eficiente del barco.
2. **Recolección de datos:** se recaban registros de mantenimiento, reportes de eventos, inspecciones visuales y mediciones durante la operación.
3. **Construcción del árbol de fallas:** se exhiben las relaciones casuales que pueden dar origen a la pérdida de potencia del motor (Figura A.3).

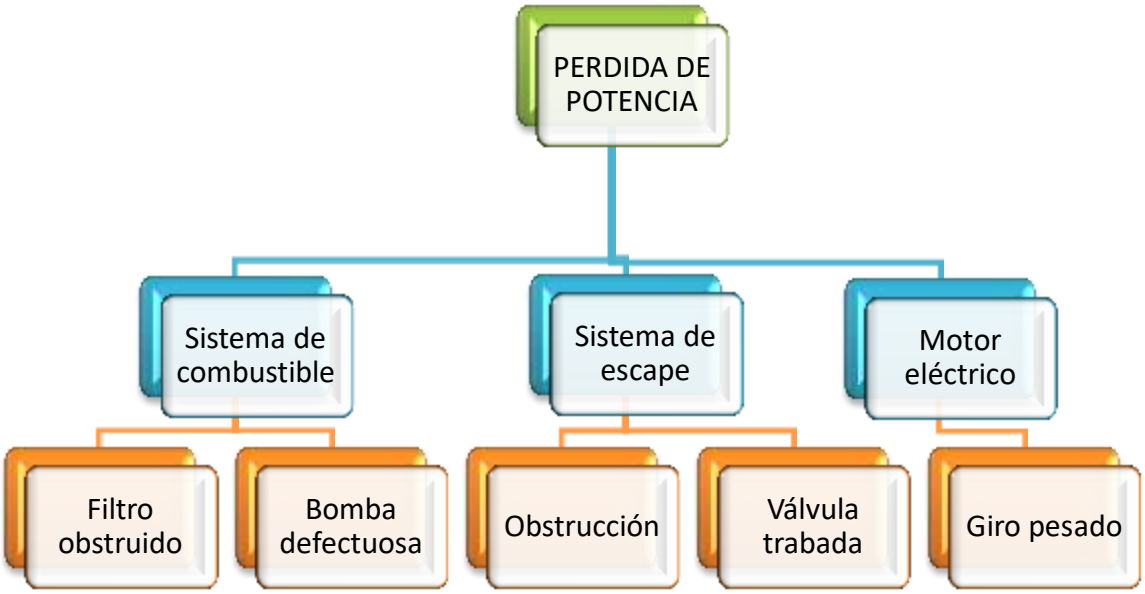


Figura A.3. *Arbol de Falla del Sistema de Propulsión*

4. **Análisis y determinación de causas raíz:** a través de herramientas como los "5 porqués" se indaga más a fondo cada causa hasta llegar a la raíz. Por ejemplo:
   - ✓ …
   - ✓ ¿Por qué el filtro de combustible estaba obstruido? Porque no se realizó el mantenimiento programado.
   - ✓ ¿Por qué no se realizó el mantenimiento? Por fallas en la planificación y control del mantenimiento preventivo.
5. **Acciones correctivas:** se implementan medidas enfocadas en resolver las causas raíz, como mejorar el programa de mantenimiento preventivo, capacitar al personal y monitorear los filtros continuamente.
6. **Verificación:** se realiza seguimiento para garantizar que la falla no se repita y que el sistema opere con fiabilidad

A.7. EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE ISHIKAWA

SITUACIÓN: se requiere el análisis causa efecto para determinar por qué la velocidad máxima de la *OPV* "ARA" se nota disminuida, afectando su operatividad.

PROBLEMA:

- ✓ velocidad de propulsión insuficiente

Causas potenciales: el equipo de mantenimiento define las siguientes causas posibles:

- ✓ hélice
- ✓ motor
- ✓ personal
- ✓ casco
- ✓ línea de eje

Confección del diagrama causa – efecto (Figura A.4)

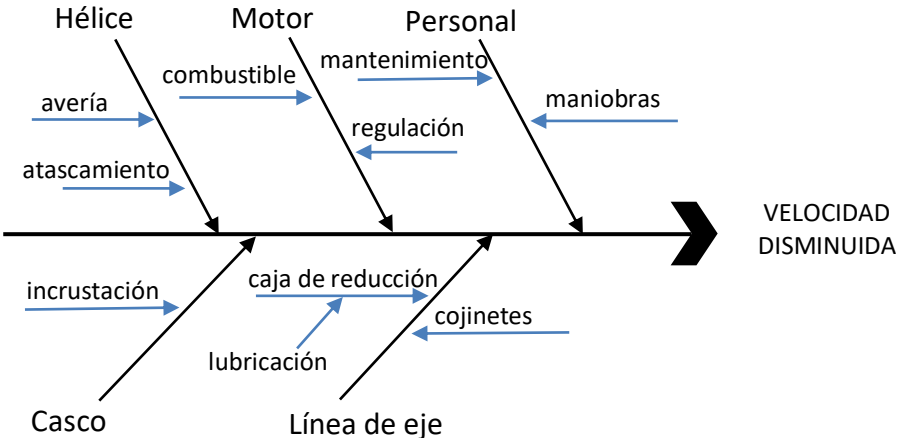


Figura A.4. *Diagrama Causa Efecto*

El equipo de mantenimiento analiza todas las posibles causas y sub-causas, hasta llegar a la raíz del problema » **ATASCAMIENTO**.

RESULTADO: *se localiza una red enredada en el eje de la hélice*.

A.8. EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL MÉTODO 5M

Problema: se detecta pérdida de presión hidráulica en la grúa de carga del Aviso “ARA”.

El equipo participante en este mantenimiento se reúne y consensa las posibles causas del problema, quedando el diagrama de las 5M como muestra la Figura A.5:

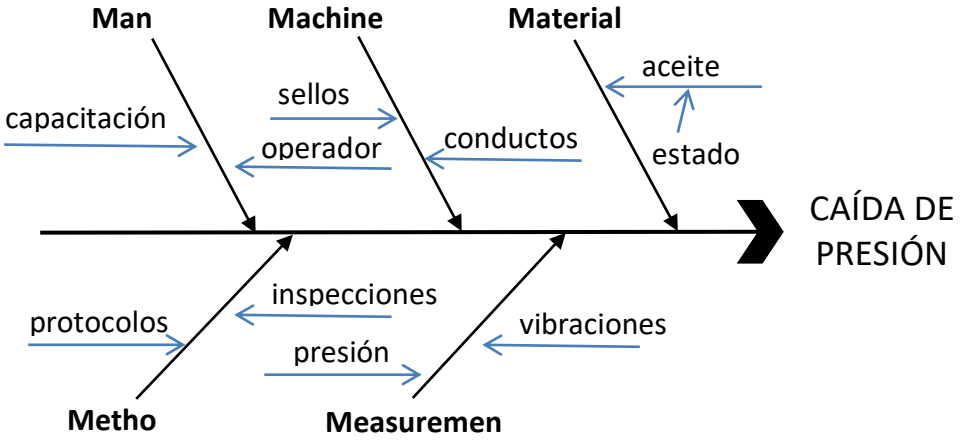


Figura A.5. *Diagrama de las 5 M*

El equipo analiza todas las causas potenciales y obtiene las siguientes conclusiones:

- ✓ **Man:** falta de entrenamiento en mantenimiento de sellos.
- ✓ **Máquina:** sellos deteriorados.
- ✓ **Material:** aceite hidráulico contaminado.
- ✓ **Método:** falta de protocolo para inspección periódica.
- ✓ **Measurement:** vibraciones constantes por estado del mar.

Para evitar la repetición del problema, se toman las siguientes medidas:

- ✓ Capacitación para operarios
- ✓ Reemplazo de sellos por nuevos de mejor calidad
- ✓ Limpieza del sistema y cambio de aceite
- ✓ Ejecución de un programa de inspecciones y mantenimiento preventivo

A.9. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LOS 5 ¿POR QUÉ?

Problema: la bomba de achique del Submarino "ARA" se para repetidamente, poniendo en riesgo la seguridad.

Desarrollo:

1. ¿**Por qué la bomba se detiene?**
   Porque el motor se sobrecalienta.
2. **¿Por qué se sobrecalienta?**
   Porque el motor eléctrico está bloqueado.
3. **¿Por qué está bloqueado?**
   Porque hay agua acumulada en el compartimento eléctrico.
4. **¿Por qué hay agua acumulada?**
   Porque las juntas de sellado están deterioradas.
5. **¿Por qué están deterioradas?**
   Porque no se realizan inspecciones periódicas correspondientes.

Acción: establecer un plan preventivo para inspeccionar y reemplazar sellos.

A través de este proceso, se descubre que la causa raíz no se encuentra en la bomba en sí, sino en la falta de seguimiento en la programación del mantenimiento, lo que sugiere la necesidad de mejorar la gestión del mantenimiento.

A.10. EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL MÉTODO AMEF

Se presenta un ejemplo a aplicación del AMEF el sistema de la Corbeta "ARA":

Paso 1: definición del alcance.

El análisis se centra en el motor principal y sus subsistemas asociados, incluyendo el sistema de combustible, lubricación y control.

Paso 2: formación del equipo.

Se conforma un equipo multidisciplinario integrado por técnicos de mantenimiento, ingenieros, operadores y especialistas en el área.

Paso 3: descomposición del sistema.

El motor se divide en subsistemas:

- ✓ sistema de lubricación
- ✓ sistema de refrigeración
- ✓ sistema de control
- ✓ transmisión de potencia
- ✓ sistema de combustible

Paso 4 y 5: identificación de modos de fallo, efectos y causas (Tabla A.5).

Tabla A.5. *Modo, Efecto y Causa de Fallo*

COMPONENTE	MODO DE FALLO	EFECTO DEL FALLO	CAUSA PRINCIPAL
Sistema de combustible	Obstrucción del filtro	Pérdida de potencia, parada del motor	Contaminación del combustible
Sistema de lubricación	Fuga de aceite	Sobrecarga y desgaste del motor	Sellos deteriorados
Sistema de refrigeración	Fallo de la bomba de agua	Sobrecalentamiento, daño al motor	Corrosión o desgaste
Sistema de control	Error en sensor de motor	Información incorrecta, detención automática	Fallo electrónico

Paso 6: asignación de valores S, O y D (escala 1-10. Tabla A.6).

Tabla A.6. *Asignación de Valores S.O.D.*

MODO DE FALLO	SEVERIDAD (S)	OCURRENCIA (O)	DETECCIÓN (D)	IPR (S×O×D)
Obstrucción del filtro	8	6	5	240
Fuga de aceite	7	5	6	210
Falla bomba de agua	9	4	5	180
Error en sensor	6	3	7	126

Paso 7: priorización y acciones.

Los modos de fallo con mayor IPR (obstrucción del filtro y fuga de aceite) reciben prioridad para implementar las siguientes acciones:

- ✓ Obstrucción del filtro: establecer inspecciones y mantenimiento preventivo más frecuentes del sistema de combustible, controlar la calidad del combustible antes de su carga.
- ✓ Fuga de aceite: revisar y reemplazar sellos regularmente, instalar sensores de nivel y presión de aceite para detección temprana.

Paso 8 y 9: seguimiento.

Se programan revisiones periódicas para validar la efectividad de las acciones y actualizar el AMEF conforme se obtenga nueva información de operación.

Este ejemplo evidencia cómo el AMEF puede ayudar a detectar y mitigar fallos críticos en sistemas complejos como los de un buque, contribuyendo a un mantenimiento más eficiente y seguro.

A.11. EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL CICLO PDCA

La sala de máquinas del Buque "ARA" ha experimentado un aumento significativo en el consumo de combustible en los últimos meses. El consumo pasó de 200 toneladas a 250 toneladas por mes.

El equipo de mantenimiento asignado plantea el problema y decide implementar un análisis de la situación utilizando el ciclo PDCA, detallado a continuación:

PLAN

- Definir el problema: aumento del consumo de combustible en la sala de máquinas.
- Establecer metas: reducir el consumo de combustible a menos de 220 toneladas por mes.
- Identificar causas raíz:
  - Falta de mantenimiento en los motores principales.
  - Ajuste inadecuado de los inyectores de combustible.
  - Uso de combustible de baja calidad.
- Desarrollar un plan de acción.

DO

- Realizar mantenimiento preventivo en los motores principales.
- Ajustar los inyectores de combustible.
- Revisar proveedores de combustible y seleccionar nuevos proveedores.

CHECK

- Evaluar los resultados:
  - Consumo de combustible reducido a 220 toneladas por mes.
  - Eficiencia del motor mejorada en un 5%.
  - Costos de combustible reducidos en un 8%.
- Identificar desviaciones:
  - Falta de consistencia en la aplicación de las nuevas medidas.

ACT

- Tomar acciones correctivas:
  - Establecer un programa de seguimiento para asegurar la consistencia en la aplicación de las nuevas medidas.
  - Revisar y ajustar el plan de acción según sea necesario.

Resultados de la intervención:

- Consumo de combustible reducido a menos de 220 toneladas por mes.
- Mejora en la eficiencia y productividad.
- Costos reducidos.

A.12. EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL MCC

En la industria naval, la implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es una excelente herramienta para garantizar la operatividad y seguridad de las embarcaciones en condiciones exigentes. Por ejemplo, el motor principal de un buque se considera un activo crítico cuyo fallo puede detener completamente la misión y poner en riesgo la seguridad. Un esquema de aplicación para dicho activo, podría ser el siguiente:

1. **Identificación del activo:** se define el motor principal como un activo clave junto con sus sistemas auxiliares, como el sistema de lubricación y refrigeración.
2. **Evaluación y monitoreo:** se establecen criterios basados en temperatura, presión y vibraciones, monitoreados en tiempo real mediante sensores instalados en el motor.
3. **Análisis de criticidad:** se determina que un fallo en el motor principal tiene consecuencias críticas para la navegación y la seguridad, priorizando un plan de mantenimiento preventivo y predictivo.
4. **FMEA y causa raíz:** al analizar fallos anteriores. Por ejemplo, se identifica que el desgaste prematuro de los cojinetes suele ser causa común.
5. **Accionar:** se implementan inspecciones periódicas y cambios basados en condiciones, además de modificaciones en los procedimientos de operación para reducir el riesgo.