GRUPO BLR

ADMINISTRACIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL:

ESTRATEGIA PARA LA EXCELENCIA EN LA GESTIÓN DE ACTIVOS FÍSICOS

AUTORES:

CÉSAR GALLEGOS-LONDOÑO
EDUARDO HERNÁNDEZ-DÁVILA
FÉLIX GARCÍA-MORA

2026

ISBN: 978-9907-802-05-4
DOI: https://doi.org/10.56519/libro.mantenimiento.2026

ADMINISTRACIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL ESTRATEGIA PARA LA EXCELENCIA EN LA GESTIÓN DE ACTIVOS FÍSICOS

AUTORES:

CÉSAR GALLEGOS-LONDOÑO

EDUARDO HERNÁNDEZ-DÁVILA

FÉLIX GARCÍA-MORA

GRUPO BLR

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad científica.

©Grupo Editorial BLR
Riobamba – Ecuador
Correo: publicaciones@grupoblr.com
https://grupoblr.com/libros-investigo
REPOSITORIO

GRUPO BLR

Gallegos, C., Hernández, E., García, F. (2026) Administración del mantenimiento industrial estrategia para la excelencia en la gestión de activos físicos. Grupo Editorial BLR.

© César Gallegos-Londoño
Eduardo Hernández-Dávila
Félix García-Mora

ISBN: 978-9907-802-05-4
DOI: https://doi.org/10.56519/libro.mantenimiento.2026

El copyright promueve la libertad de expresión, protege la diversidad de ideas y conocimiento, además apoya la libre expresión. Se prohíbe de manera rigurosa la producción o el almacenamiento de esta publicación, ya sea en su totalidad o en parte, está estrictamente prohibido por ley, incluyendo el diseño de la portada, así como su difusión a través de cualquiera de sus medios, ya sean electrónicos, mecánicos, ópticos, de grabación o incluso de fotocopia, sin permiso de los propietarios de los derechos de autor.

FILIACIONES DE LOS AUTORES

CÉSAR GALLEGOS-LONDOÑO

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Correo Electrónico: cesar.gallegos@espoch.edu.ec

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8685-7501

EDUARDO HERNÁNDEZ-DÁVILA

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Correo Electrónico: edhernandez@espoch.edu.ec

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4899-2371

FÉLIX GARCÍA-MORA

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Correo Electrónico: felix.garcia@espoch.edu.ec

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5814-3694

GRUPO BLR

ÍNDICE

ÍNDICE ..... **i**

INTRODUCCIÓN ..... **i**

CAPÍTULO I **1**

1 INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO **1**

1.1 Normas nacionales, regionales e internacionales de mantenimiento 1

1.1.1 Normas internacionales 2

1.1.2 Normas regionales 3

1.1.3 Normas nacionales 6

1.2 Terminología del mantenimiento 9

1.2.1 Términos fundamentales 10

1.2.2 Términos relativos al elemento 12

1.2.3 Fallas y averías 14

1.2.4 Tipos de mantenimiento 20

1.3 Historia del mantenimiento 27

1.3.1 Período preindustrial 28

1.3.3 Revolución industrial 29

1.3.4 Evolución de la gestión de los activos físicos 32

1.4 Análisis de las generaciones del mantenimiento 35

1.4.1 Primera generación 35

1.4.2 Segunda generación 35

1.4.3 Tercera generación 36

1.4.4 Cuarta generación 36

CAPÍTULO II 39

2 ESTRUCTURA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO 39

2.1 Propósito del mantenimiento en la industria 39

2.2 Introducción a la organización del mantenimiento 40

2.3 Estructura organizacional del departamento de mantenimiento 42

2.4 Estructura centralizada y descentralizada del mantenimiento ... 45

2.4.1 Estructura centralizada 46

2.4.2 Estructura descentralizada 47

2.5 Factor humano en el mantenimiento 48

CAPÍTULO III 51

3 SISTEMATIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO 51

3.1 Documentos de mantenimiento 54

3.2 Documentos de la fase preparatoria 55

3.2.1 Datos técnicos 56

3.2.2 Manual de operación 57

3.2.3 Manual de mantenimiento 57

3.3 Documentos de la fase operativa 58

3.3.1 Solicitud de trabajo 61

3.3.2 Orden de trabajo 63

3.3.3 Solicitud de compra 64

3.3.4 Orden de compra 66

3.3.5 Solicitud de materiales 67

3.3.6 Informe para el cierre de la OT 68

CAPÍTULO IV 71

4 CODIFICACIÓN TÉCNICA 71

4.1 Tipos de equipos industriales 72

4.2 Centro de costos 76

4.3 Estructura de codificación de equipos 79

4.4 Codificación de ubicaciones técnicas 83

4.5 Codificación de maquinas 86

4.6 Codificación técnica de equipos 87

4.6.1 Codificación con ubicación técnica separada 88

4.6.2 Codificación con ubicación técnica integrada 89

4.7 Movimiento de equipos 90

4.8 Codificación del personal 91

CAPÍTULO V 93

5 PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO 93

5.1 Tareas de mantenimiento 95

5.1.1 Mantenimiento de rutina 96

5.1.2 Mantenimiento predeterminado 97

5.1.3 Mantenimiento basado en la condición 98

5.1.4 Mantenimiento correctivo 99

5.1.5 Mantenimiento de edificaciones 99

5.2 Períodos, rutinas y recursos 100

5.2.1 Períodos 100

5.2.2 Rutinas 101

5.2.3 Recursos 102

5.3 Cálculo de las unidades operativas de producción 103

5.3.1 Definición de las unidades operativas de producción 104

5.3.2 Cálculo de las unidades operativas de producción 104

5.3.3 Importancia de las unidades operativas de producción 105

5.3.4 Ejemplo de las unidades operativas de producción 106

5.4 Cronograma de mantenimiento preventivo 106

5.4.1 Pasos para crear un cronograma de mantenimiento preventivo 107

5.4.2 Ejemplos de cronogramas de mantenimiento preventivo 108

CAPÍTULO VI 111

6 PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO 111

6.1 Importancia de la programación del mantenimiento 111

6.2 Pasos para la programación del mantenimiento 112

6.3 Herramientas de programación del mantenimiento 113

6.4 Programación de órdenes de trabajo 114

6.4.1 Órdenes de trabajo preventivas 114
6.4.2 Órdenes de trabajo correctivas 115
6.4.3 Órdenes de trabajo retrasadas 116
6.5 Cálculo de recursos 117
6.5.1 Pasos para el cálculo de recursos 117
6.5.2 Tipos de recursos en el cálculo 118
6.5.3 Importancia del cálculo de recursos 119
6.6 Gestión del backlog y frontlog 120
6.6.1 Backlog 121
6.6.2 Frontlog 121
6.6.3 Gestión de backlogs 122
6.6.4 Gestión de frontlogs 123
6.6.5 Importancia de la gestión de backlogs y frontlogs 123
6.7 KPI básicos del mantenimiento 124
6.7.1 Disponibilidad de activos físicos 124
6.7.2 Tiempo medio entre fallas 125
6.7.3 Tiempo medio hasta la recuperación 125
6.7.4 Eficiencia del trabajo de mantenimiento 126
6.7.5 Cumplimiento de programas de mantenimiento preventivo 127
6.7.6 Costo de mantenimiento como porcentaje de los ingresos 127
6.7.7 Uso de repuestos 127
6.7.8 Índice de seguridad en mantenimiento 128

CONCLUSIONES **129**

GLOSARIO **131**

REFERENCIAS **134**

INTRODUCCIÓN

La administración del mantenimiento es vital en los sectores manufacturero, energético y petrolero para mitigar fallas críticas y optimizar la rentabilidad de los activos físicos. En la industria petroquímica y de comunicaciones, se garantiza la continuidad mediante la preservación de la infraestructura técnica y el control sistemático de la degradación.

En los sectores de transporte y logística, la gestión sistemática reduce riesgos de accidentes y asegura el cumplimiento de plazos de entrega en las cadenas de suministro globales. Para las empresas de servicios y comercialización, se busca mantener la operatividad constante para salvaguardar la satisfacción del cliente y la rentabilidad institucional.

La administración del mantenimiento en infraestructuras de salud y hotelería resulta prioritaria para garantizar la seguridad del usuario y la fiabilidad del equipamiento crítico. Se implementan planes preventivos para evitar pérdidas económicas por indisponibilidad de los activos físicos y asegurar el cumplimiento de las normativas de calidad.

El presente trabajo sistematiza los pilares de la gestión de activos físicos mediante un enfoque técnico-científico que integra la planificación estratégica y la programación operativa del mantenimiento. El aporte integral de la obra reside en la vinculación de la trazabilidad documental con indicadores clave de desempeño para optimizar recursos institucionales. Se facilita la toma de decisiones basada en datos, promoviendo la eficiencia técnica y la sostenibilidad económica en

diversos sectores industriales contemporáneos. Es por estos motivos que en la presente obra se desarrollan los siguientes capítulos.

En el primer capítulo, se establecen las bases conceptuales y la terminología técnica fundamental del mantenimiento industrial bajo estándares internacionales como la norma UNE-EN 13306. Se analiza la evolución histórica de la disciplina y el marco normativo nacional que regula las prácticas modernas de gestión de activos físicos.

En el segundo capítulo, se examina la estructura organizacional del departamento de mantenimiento, comparando los modelos de gestión centralizada y descentralizada según la complejidad y ubicación de la industria. Se destaca el propósito de la función técnica y la relevancia del factor humano, incluyendo las competencias y motivación para la eficiencia operativa.

En el tercer capítulo, se desarrolla la sistematización de los procesos mediante la definición de los niveles de planificación estratégica, táctica y operativa dentro de la organización empresarial. Se detalla el flujo documental necesario, especificando los campos mínimos requeridos en las órdenes de trabajo para asegurar la trazabilidad operativa.

En el cuarto capítulo, Se propone una metodología para la codificación técnica y la jerarquización de los activos físicos basada en la taxonomía de la norma ISO 14224 para facilitar el intercambio de datos técnicos. Se integra la arquitectura de centros de costos para permitir una imputación precisa de los gastos y el cálculo del costo del ciclo de vida.

En el quinto capítulo, se aborda la planificación del mantenimiento preventivo mediante la definición de tareas, rutinas y frecuencias basadas en unidades operativas de producción. Se explica el cálculo de las métricas de unidades operativas de producción y el diseño de cronogramas sistemáticos que aseguran la preservación funcional de los equipos industriales.

Finalmente, en el sexto capítulo, se detalla la programación del mantenimiento, abarcando el cálculo de recursos y la gestión de backlogs para optimizar el uso de la mano de obra. Se presentan los indicadores clave de desempeño (KPI) esenciales, como la disponibilidad y el tiempo medio entre fallas, para la evaluación de la gestión del mantenimiento.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO

Hoy en día en la industria moderna, el mantenimiento juega un papel fundamental en la gestión de activos físicos, pues afecta directamente la rentabilidad y competitividad de las empresas. Un mantenimiento efectivo no solo implica la reparación de averías cuando estas ocurren, sino también la implementación de estrategias preventivas que permitan identificar y corregir posibles problemas antes de que causen interrupciones en la producción (Montilla, 2019).

Para gestionar el mantenimiento industrial se requiere una planificación cuidadosa, en conjunto con el uso de tecnologías avanzadas de monitoreo y diagnóstico, así como la formación adecuada del personal técnico. También es importante considerar los aspectos de seguridad laboral y medioambiental en todas las actividades relacionadas con el mantenimiento (Parra & Crespo, 2019).

1.1 Normas nacionales, regionales e internacionales de mantenimiento

Las normas nacionales, regionales e internacionales relacionadas con el mantenimiento industrial son fundamentales para establecer estándares de calidad, seguridad y eficiencia en las operaciones de mantenimiento. A continuación, se mencionan algunas de las principales normas en este ámbito.

A nivel internacional, organismos como la Organización Internacional de Normalización (ISO, del inglés *International Organization for*

Standardization) y el Comité Europeo de Normalización (CEN) han desarrollado normas que unifican conceptos, definiciones y buenas prácticas. Un ejemplo clave es la EN 13306 (2017), que establece la terminología del mantenimiento, permitiendo un lenguaje común entre profesionales, empresas e instituciones académicas. Esta norma define conceptos esenciales como mantenimiento preventivo, correctivo y gestión del mantenimiento, facilitando la correcta interpretación y aplicación de estrategias de mantenimiento en diferentes sectores industriales.

1.1.1 Normas internacionales

En el ámbito internacional, diversas organizaciones desarrollan normas aplicables al mantenimiento industrial, algunas de las más relevantes incluyen:

a. ***ISO 55000.*** Establece los principios y requisitos para la gestión de activos, incluido el mantenimiento, con el objetivo de mejorar el rendimiento y el valor de los activos de una organización (Montilla, 2019).

b. ***ISO 14224.*** Proporciona directrices para la recopilación y el intercambio de datos de fiabilidad y mantenimiento de equipos industriales (ISO 14224, 2016).

c. ***ISO 9001.*** Aunque no se centra específicamente en el mantenimiento, esta norma define los requisitos para un sistema de gestión de calidad, que puede incluir aspectos relacionados con el mantenimiento como parte de los procesos de mejora continua (Parra & Crespo, 2019).

d. ***ISO 44001.*** Establece los principios para la gestión de relaciones colaborativas en entornos de mantenimiento, promoviendo la cooperación entre diferentes partes involucradas en la gestión de activos (John Campbell et al. 2011).

Estas normas proporcionan orientación y mejores prácticas que ayudan a las organizaciones a mejorar la eficiencia, reducir los riesgos y cumplir con los requisitos legales y regulatorios aplicables al mantenimiento industrial. La adopción y el cumplimiento de estas normativas pueden contribuir significativamente a la optimización de los procesos de mantenimiento y al logro de los objetivos organizacionales.

1.1.2 Normas regionales

En el ámbito regional, pueden existir normativas específicas emitidas por organizaciones como la Unión Europea (UE) en Europa, o la Asociación de Naciones del Sudeste Asiático (ASEAN) en el sudeste asiático. Estas normativas pueden abordar aspectos relacionados con la seguridad, la protección ambiental y la estandarización de procesos de mantenimiento (Parra & Crespo, 2019).

La Unión Europea mediante el Comité Europeo de Normalización (CEN) ha expedido una serie de normas de mantenimiento y fiabilidad a través del comité técnico CEN/TC 319 (*Maintenance*), mismas que en su mayoría han sido traducidas al español por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) con su comité técnico AEN/CTN 151 (Mantenimiento) cuya Secretaría desempeña INGEMAN, de las cuales las principales normas de mantenimiento se pueden encontrar en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Normas de mantenimiento publicadas por la Unión Europea

DESIGNACIÓN	TÍTULO
UNE-EN 13269	Mantenimiento - Guía para la preparación de contratos de mantenimiento
UNE-EN 13306	Mantenimiento - Terminología del mantenimiento
UNE-EN 13460	Mantenimiento - Documentos para el mantenimiento
UNE-EN 15331	Criterios para el diseño, la gestión y el control de servicios de mantenimiento de edificios
UNE-EN 15341	Mantenimiento - Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento
UNE-EN 15628	Mantenimiento - Cualificación del personal de mantenimiento
UNE-EN 16646	Mantenimiento - Mantenimiento en la gestión de los activos físicos
UNE-EN 17485	Mantenimiento - Mantenimiento en el marco de la gestión de activos físicos - Marco para mejorar el valor de los activos físicos a lo largo de todo su ciclo de vida
UNE-EN 16991	Marco de la inspección basada en el riesgo
UNE-EN 17007	Proceso de mantenimiento e indicadores asociados

DESIGNACIÓN	TÍTULO
UNE-EN 60300-3-1	Gestión de la confiabilidad. Parte 3-1 - Guía de aplicación - Técnicas de análisis de la confiabilidad - Guía metodológica
UNE-EN 60300-3-2	Gestión de la confiabilidad. Parte 3-2 - Guía de aplicación - Recogida de datos de confiabilidad en la explotación
UNE-EN 60300-3-3	Gestión de la confiabilidad. Parte 3-3 - Guía de aplicación - Cálculo del coste del ciclo de vida
UNE-IEC 60300-3-10	Gestión de la confiabilidad. Parte 3-10 - Guía de aplicación - Mantenibilidad
UNE-EN 60300-3-11	Gestión de la confiabilidad. Parte 3-11 - Guía de aplicación - Mantenimiento centrado en la fiabilidad
UNE-EN IEC 60812	Análisis de los modos de fallo y de sus efectos (AMFE y AMFEC)
UNE-EN IEC 61025	Análisis por árbol de fallos (AAF)
UNE-EN 61014	Programas de crecimiento de la fiabilidad
UNE-EN 61078	Diagrama de bloques de la fiabilidad
UNE-EN 61649	Análisis de Weibull

DESIGNACIÓN	TÍTULO
UNE-EN 61703	Expresiones matemáticas para términos de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y soporte de mantenimiento
UNE-EN 61710	Modelo de ley de potencia - Ensayos de bondad de ajuste y métodos de estimación
UNE-EN 62308	Fiabilidad de los equipos – Métodos de evaluación de la fiabilidad
UNE-EN 62740	Análisis de causa raíz (RCA)
UNE 151001	Mantenimiento - Indicadores de mantenibilidad de dispositivos - Definición y evaluación
EN 17666	Maintenance - Maintenance engineering - Requirements

Fuente: Elaboración propia.

Nota. Principales normas de mantenimiento publicadas por la Unión Europea.

1.1.3 Normas nacionales

En Ecuador, las normas de mantenimiento pueden variar dependiendo del sector industrial y las regulaciones específicas que se apliquen en cada área. Sin embargo, algunas normas y estándares ampliamente reconocidos que pueden aplicarse al mantenimiento en general incluyen:

a. ***Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).*** Esta norma establece los requisitos y especificaciones técnicas para la construcción, incluyendo aspectos relacionados con el mantenimiento de estructuras y edificaciones (NEC, 2025).

b. ***Norma Técnica Ecuatoriana (NTE).*** Las NTE comprenden una variedad de áreas técnicas y pueden incluir especificaciones relevantes para el mantenimiento en sectores específicos como electricidad, mecánica, entre otros (INEN, 2025).

La Tabla 1.2 muestra las normas internacionales y regionales relacionadas con el mantenimiento que has sido adoptadas por el INEN e incorporadas a su catálogo técnico desde el año 2010.

c. ***Reglamento Ecuatoriano de Seguridad y Salud en el Trabajo (RESSAT).*** Este reglamento instaura los requisitos mínimos de seguridad y salud ocupacional en los lugares de trabajo, lo cual puede incluir aspectos relacionados con el mantenimiento seguro de equipos y maquinaria.

Tabla 1.2. Normas internacionales y regionales adoptadas por el INEN

DESIGNACIÓN	TÍTULO
NTE INEN-EN 13269	Mantenimiento. Guía para la preparación de contratos de mantenimiento
NTE INEN-UNE-EN 13306	Mantenimiento. Terminología del mantenimiento (UNE-EN 13306:2018, IDT)

NTE INEN-EN 13460	Mantenimiento. Documentos para el mantenimiento. (EN 13460:2009)
NTE INEN-ISO 14224	Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural - recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos (ISO 14224:2016, IDT)
NTE INEN-ISO/IEC 14764	Ingeniería de software - procesos de ciclo de vida del software - mantenimiento (ISO/IEC 14764:2006, IDT)
NTE INEN UNE-EN 15341	Mantenimiento. Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento (UNE-EN 15341:2020, IDT)
NTE INEN-ISO 50004	Sistemas de gestión de la energía - orientación para la implementación, mantenimiento y mejora de un sistema de gestión de la energía de la norma ISO 50001 (ISO 50004:2020, IDT)
GPE INEN 54	Selección, instalación, mantenimiento y verificación de balanzas de gran capacidad
NTE INEN-EN 60300-3-14	Gestión de la confiabilidad. Parte 3-14: guía de aplicación. Mantenimiento y logística de mantenimiento. Número de referencia EN 60300-3-14:2004
NTE INEN-IEC 60300-3-16	Gestión de la confiabilidad. Parte 3-16: guía de aplicación. Directrices para la especificación de

	los servicios de logística de mantenimiento (IEC 60300-3-16:2008, IDT)

Fuente: Elaboración propia

Nota. Normas de mantenimiento internacionales y regionales que se han adoptado por el INEN para el Ecuador.

d. ***Reglamentos sectoriales.*** Dependiendo del sector industrial en el que opere una empresa, pueden existir reglamentos específicos emitidos por entidades reguladoras que establecen requisitos para el mantenimiento de equipos y sistemas (Hastings, 2015).

Es importante que las organizaciones en Ecuador estén familiarizadas con las normativas y regulaciones relevantes para su industria específica y que cumplan con los estándares de calidad y seguridad aplicables al mantenimiento de sus activos físicos. Además, es recomendable estar al tanto de las actualizaciones y revisiones de las normas para garantizar el cumplimiento continuo (Hastings, 2015).

1.2 Terminología del mantenimiento

A través del tiempo se ha escrito una considerable terminología de mantenimiento disponibles en varias fuentes como libros, artículos, publicaciones web y otras cuyo contexto está marcado por una marcada apreciación personal de cada autor de tal forma que es común encontrarse con definiciones que se contradicen en poco o mayor grado.

En vista de esta realidad se propone utilizar y difundir para este propósito lo que se indica en la norma europea UNE-EN 13306, (2018)

denominada *Mantenimiento - Terminología del mantenimiento*, misma que define los términos genéricos usados en el mantenimiento desde el punto de vista técnico, administrativo y de gestión.

1.2.1 Términos fundamentales

Los términos fundamentales contemplan los conceptos básicos que permiten la comunicación unívoca entre los diversos niveles organizacionales de la empresa y los proveedores de servicios.

a. ***Mantenimiento.*** Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida (UNE-EN 13306, 2018). Por la importancia de esta definición, se la analizará dividiéndola en tres partes:

1. **Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión:** Contemplan a todo tipo de actividad que se lleve a cabo dentro de las cuales las acciones de mantenimiento técnico incluyen observaciones y análisis del estado del elemento como inspecciones, monitorización, pruebas, diagnóstico, pronóstico y acciones de mantenimiento activo como la sustitución, la reparación o la rehabilitación.
2. **Realizadas durante el ciclo de vida de un elemento:** Todas estas actividades no deben realizarse únicamente durante el periodo operativo de los elementos, sino que deben iniciar en las etapas tempranas de concepción y diseño; incluso antes de la construcción del elemento; donde el mantenimiento es clave ya

que se puede aportar con los criterios de fiabilidad y mantenibilidad que mejore el desempeño del elemento durante su vida útil.

3. **Destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida:** Esta última parte revela impactantemente que el mantenimiento no se centra en la preservación física del elemento por sí mismo, sino en garantizar que el elemento cumpla con lo que la función que se requiere que cumpla, lo que permite responder de forma asertiva a la pregunta:

¿Qué es lo que el mantenimiento debe mantener?

a. ***Función requerida.*** Función o combinación de funciones de un elemento que se consideran necesarias para satisfacer un requisito dado de forma explícita o tácita y que pueden estar constituidos por los requisitos el proceso productivo, las especificaciones de diseño originales o el valor del activo físico. También incluye, implícitamente, lo que el elemento no debe hacer (UNE-EN 13306, 2018).

b. ***Gestión del mantenimiento.*** Todas las actividades de la gestión que determinan los requisitos, los objetivos, las estrategias y las responsabilidades del mantenimiento y la implantación de dichas actividades por medios tales como la planificación del mantenimiento, el control de este y la mejora de las actividades de mantenimiento y las cuestiones económicas (UNE-EN 13306, 2018).

c. ***Objetivos del mantenimiento.*** Metas asignadas y aceptadas para las actividades de mantenimiento. Esta definición indica que cada departamento de mantenimiento debe identificar primeramente lo

que se debe hacer (estrategias de mantenimiento) para alcanzar los objetivos propios y los de la organización que correspondan, y luego de aquello implementar indicadores como disponibilidad, costos, calidad, seguridad, vida útil entre otros y establecer metas (UNE-EN 13306, 2018).

d. ***Estrategia de mantenimiento.*** Actividades o método de gestión utilizado para lograr los objetivos del mantenimiento. Algunos ejemplos podrían ser la contratación externa del mantenimiento, la adjudicación de recursos, entre otros (UNE-EN 13306, 2018).

e. ***Plan de mantenimiento.*** Conjunto estructurado y documentado de tareas que incluyen las actividades, los procedimientos, los recursos y la duración necesaria para realizar el mantenimiento (UNE-EN 13306, 2018).

1.2.2 Términos relativos al elemento

Los términos relativos al elemento definen las unidades físicas que son objeto de las acciones de mantenimiento, permitiendo establecer que la jerarquización y la taxonomía de estos elementos indispensable para la gestión de fallas y activos físicos (Pérez, 2021).

a. ***Elemento (Ítem.*** Parte, componente, dispositivo, subsistema, unidad funcional, equipo o sistema que puede describirse y considerarse de forma individual. Debe considerarse que una muestra o conjunto de elementos conforman un elemento por sí mismos. Un elemento puede estar constituido por hardware, software, o ambos (UNE-EN 13306, 2018).

b. ***Activo físico.*** Elemento que tiene un valor real o potencial para una organización como los componentes, máquinas, plantas, edificios, infraestructuras, etc (UNE-EN 13306, 2018).

c. ***Elemento reparable.*** Elemento que, después de una falla y bajo condiciones económicas, ecológicas, técnicas y/o de otro tipo, se puede devolver a un estado en el que pueda realizar una función requerida (UNE-EN 13306, 2018).

d. ***Elemento consumible.*** Elemento o material que es fungible de un costo relativamente bajo, que puede ser sustituido de forma regular y que generalmente no es un elemento específico (UNE-EN 13306, 2018).

e. ***Repuesto (Replacement ítem).*** Elemento destinado a sustituir a un elemento análogo, con objeto de conservar o mantener la función original requerida del elemento. El elemento original se puede reparar posteriormente (UNE-EN 13306, 2018).

f. ***Redundancia activa.*** Configuración operativa en paralelo en la que varios elementos están funcionando simultáneamente para realizar una función requerida cuando se necesite (UNE-EN 13306, 2018).

g. ***Redundancia en espera (Redundancia pasiva).*** Configuración operativa en paralelo en la que únicamente se activan cuando los medios activos no están disponibles (UNE-EN 13306, 2018).

h. ***Condiciones de funcionamiento.*** Cargas físicas y condiciones ambientales experimentadas por el elemento durante un período determinado, mismas que pueden variar por distintos motivos a lo largo de la vida del elemento (UNE-EN 13306, 2018).

1.2.3 Fallas y averías

Los términos relativos a las fallas y avería permiten clasificar rigurosamente los eventos para el análisis de fiabilidad y la gestión operativa (Mora-Gutiérrez, 2022).

a. ***Vida útil.*** Intervalo de tiempo que comienza a partir del primer uso (excluyendo las actividades de prueba) hasta el instante en que alguno de los siguientes factores ha alcanzado niveles indeseados (UNE-EN 13306, 2018):

- Tasa de fallas,
- Requisitos de soporte de mantenimiento,
- Condiciones físicas,
- Aspectos económicos,
- Edad,
- Obsolescencia,
- Cambios en los requisitos del usuario, u
- Otros factores relevantes.

b. ***Tasa media de fallas.*** Número de fallas de un elemento durante un intervalo de tiempo dado dividido por el intervalo de tiempo o unidades de uso (UNE-EN 13306, 2018).

c. ***Ciclo de vida.*** Serie de estados por los que pasa un elemento desde su concepción hasta su eliminación. Un ciclo de vida típico consiste en (UNE-EN 13306, 2018):

- Adquisición,
- Operación,

- Mantenimiento,
- Modernización,
- Desmantelamiento y/o
- Eliminación.

La Figura 1.1. muestra la relación entre ciclo de vida y la vida útil donde se observa que un elemento podría completar varios ciclos de vida para una misma institución ya que luego de una restauración iniciaría un nuevo ciclo de vida; por otro lado, el mismo activo físico puede pertenecer a otra organización luego de una venta durante a lo largo de su vida útil (UNE-EN 16646, 2015).

Figura 1.1. Relación entre ciclo de vida y la vida útil

Fuente: Elaboración propia

Nota. Luego de que un elemento termina con su ciclo de vida es restaurado e inicia un nuevo ciclo de vida dentro de la misma organización. Posteriormente al finalizar por segunda vez su vida útil es vendido a otra organización donde la restauran e inician nuevamente otro ciclo de vida.

d. ***Falla.*** Es un evento caracterizado por el cese de la aptitud de un elemento para realizar una función requerida. Después de la falla el elemento presenta una avería, que puede ser total o parcial (UNE-EN 13306, 2018).

e. ***Avería.*** Estado de un elemento caracterizado por la inaptitud para realizar una función requerida, excluyendo la inaptitud durante el mantenimiento preventivo o por otras acciones planificadas, o debido a la falta de recursos externos. Una avería, generalmente, es la consecuencia de una falla, pero en algunas circunstancias, como la especificación de diseño, la construcción o el mantenimiento puede tratarse de una avería preexistente (UNE-EN 13306, 2018).

f. ***Avería latente.*** Avería existente que aún no se ha hecho manifiesta (UNE-EN 13306, 2018).

g. ***Avería parcial.*** Avería caracterizada por el hecho de que un elemento puede realizar únicamente algunas, pero no todas las funciones requeridas. Algunas averías parciales provocan que el elemento funcione a capacidad reducida (UNE-EN 13306, 2018).

Figura 1.2. Relación entre falla y avería

Fuente: Elaboración propia

Nota. Un elemento puede deteriorarse progresivamente hasta perder su función, este evento de deterioro es la falla, en tanto que en el momento que el deterioro es evidente y puede ser percibido físicamente, el elemento se encuentra en estado de avería y normalmente se requerirá de una intervención.

h. Modos de falla. La norma ISO 14224 (2016) denominada "Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural recolección e intercambio de datos de fiabilidad y mantenimiento de equipos" proporciona directrices para la recopilación y el intercambio de datos de fallas y mantenimiento para equipos industriales. En términos de modos de falla, la norma ISO 14224 (2016) define varios códigos para representar los modos de falla típicos que pueden ocurrir en equipos. Algunos de estos modos de falla incluyen:

- **Rotura mecánica:** Esta categoría incluye fallas relacionadas con la fractura de componentes mecánicos debido a fatiga, sobrecarga, desgaste, etc.
- **Degradación:** Esta categoría incluye fallas relacionadas con la degradación gradual de un componente o sistema con el tiempo, como la corrosión, el desgaste por abrasión, la erosión, etc.
- **Fuga o escape:** Esta categoría abarca fallas que resultan en la fuga o escape de fluidos, gases o materiales de un sistema sellado.
- **Bloqueo o atasco:** Esta categoría incluye fallas que causan la obstrucción o bloqueo de un sistema, como la obstrucción de una tubería o la obstrucción de un filtro.

- **Falla eléctrica:** Esta categoría abarca fallas relacionadas con el sistema eléctrico, como cortocircuitos, fallas en cables, fallas de componentes eléctricos, etc.
- **Falla térmica:** Esta categoría incluye fallas relacionadas con problemas de temperatura, como sobrecalentamiento, congelación, fluctuaciones de temperatura incontroladas, etc.
- **Falla de control o regulación:** Esta categoría abarca fallas en sistemas de control o regulación que resultan en un mal funcionamiento o falta de control del equipo.
- **Falla de diseño o fabricación:** Esta categoría incluye fallas causadas por defectos de diseño o fabricación en el equipo.

La norma proporciona una estructura detallada para la codificación y clasificación de estos modos de falla para facilitar la recopilación y el intercambio de datos de mantenimiento y fiabilidad entre diferentes organizaciones industriales (ISO 14224, 2016).

Para poder estructurar de forma estandarizada a los modos de fallas se los considera como las causas físicas que en primera instancia originan la aparición de las fallas funcionales. Las actividades de prevención, anticipación o corrección de fallas funcionales deben estar orientadas a mitigar modos de falla específicos, es este motivo se debe identificar con claridad el elemento al que se asignará la actividad de mantenimiento (Moubray, 2004).

Para fines prácticos, es preferible que los modos de falla contengan en primer lugar el elemento seguido del estado de deterioro que evidencia la existencia de una avería (Figura 1.3).

Figura 1.3. Estructura de un modo de falla

Fuente: Elaboración propia

Nota. Ejemplos de modos de falla son rodamiento desgastado, impulsor desgastado, conector fisurado, filtro taponado, entre otros.

i. ***Degradación.*** Cambio perjudicial en la condición física del elemento que se produce por el tiempo, la utilización o por causas externas. La degradación puede conducir a una falla (UNE-EN 13306, 2018).

j. ***Causa de falla.*** Circunstancias habidas durante la especificación, el diseño, la fabricación, la instalación, la utilización o el mantenimiento que provocan la falla (UNE-EN 13306, 2018).

k. ***Mecanismo de falla.*** Procesos físicos, químicos o de otros tipos que pueden conducir o han conducido a la falla (UNE-EN 13306, 2018).

l. ***Severidad (de una falla o de una avería).*** Consecuencias perjudiciales potenciales o reales de una falla o de una avería. La severidad de una falla puede estar relacionada con la seguridad, la disponibilidad, los costos, la calidad, el medio ambiente, etc (UNE-EN 13306, 2018).

1.2.4 Tipos de mantenimiento

Los términos sobre los tipos de mantenimiento permiten clasificar las estrategias según el momento de su ejecución y los objetivos técnicos perseguidos, estableciendo la distinción entre acciones preventivas y correctivas, y constituyendo la base para la planificación estratégica y la asignación de recursos en la gestión de activos físicos (Pérez, 2021).

a. ***Mantenimiento preventivo.*** Mantenimiento llevado a cabo para evaluar y/o mitigar la degradación y reducir la probabilidad de falla de un elemento (UNE-EN 13306, 2018).

b. ***Mantenimiento predeterminado.*** Mantenimiento preventivo que se realiza de acuerdo con intervalos de tiempo establecidos o con un número definido de unidades de funcionamiento, pero sin análisis previo de la condición del elemento. Los intervalos de tiempo o el número de unidades de funcionamiento se pueden establecer a partir del conocimiento de los mecanismos de falla del elemento (UNE-EN 13306, 2018).

c. ***Mantenimiento basado en la condición.*** Mantenimiento preventivo que incluye una combinación de la evaluación de las condiciones físicas, el análisis y las posibles acciones de mantenimiento posteriores. La evaluación de la condición se puede realizar mediante la observación del operador y/o inspección, y/o pruebas, y/o monitorización de la condición de los parámetros del sistema, realizada de acuerdo con un cronograma, bajo petición o en forma continua (UNE-EN 13306, 2018).

d. ***Mantenimiento predictivo.*** Mantenimiento basado en la condición que se realiza siguiendo una predicción obtenida del

análisis repetido o de características conocidas y de la evaluación de los parámetros significativos de la degradación del elemento (UNE-EN 13306, 2018).

e. ***Mantenimiento activo.*** Parte del mantenimiento durante el cual las acciones se llevan a cabo directamente en un elemento para mantenerlo o restaurarlo a un estado en el que pueda realizar la función requerida (UNE-EN 13306, 2018).

- El mantenimiento preventivo activo es la parte del mantenimiento preventivo donde se llevan a cabo acciones para restaurar un elemento directamente o bien siguiendo las degradaciones observadas a través de la monitorización de la condición, inspección o prueba.
- El mantenimiento correctivo activo es la parte del mantenimiento correctivo en el que se llevan a cabo acciones para restaurar el elemento.

f. ***Mantenimiento mejorado.*** Conjunto de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, destinadas a mejorar la fiabilidad intrínseca y/o la mantenibilidad y/o la seguridad de un elemento, sin cambiar la función original (UNE-EN 13306, 2018).

g. ***Mantenimiento correctivo.*** Mantenimiento que se realiza después del reconocimiento de una avería y que está destinado a poner a un elemento en un estado en que pueda realizar una función requerida (UNE-EN 13306, 2018).

h. ***Mantenimiento correctivo diferido.*** Mantenimiento correctivo que no se realiza inmediatamente después de detectarse una avería, sino que se retrasa por motivos como la falta de algún

recurso o porque la avería no tiene consecuencias operacionales (UNE-EN 13306, 2018).

i. ***Mantenimiento correctivo inmediato.*** Mantenimiento correctivo que se realiza sin demora después de detectarse una avería, a fin de evitar consecuencias inaceptables (UNE-EN 13306, 2018).

j. ***Mantenimiento programado.*** Mantenimiento que se realiza de acuerdo con un programa de calendario o un número establecidos de unidades de utilización. El mantenimiento correctivo diferido también puede ser programado (UNE-EN 13306, 2018).

k. ***Mantenimiento oportunista.*** Mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo diferido realizado sin programación al mismo tiempo que otras acciones de mantenimiento o eventos particulares para reducir costos, indisponibilidad (UNE-EN 13306, 2018).

l. ***Mantenimiento remoto.*** Mantenimiento de un elemento que se realiza sin acceso físico del personal al elemento (UNE-EN 13306, 2018).

m. ***Mantenimiento en uso.*** Mantenimiento que se realiza sobre el elemento mientras está funcionando y sin impacto sobre sus prestaciones. En este tipo de mantenimiento es importante que se sigan todos los procedimientos de seguridad (UNE-EN 13306, 2018).

n. ***Mantenimiento in situ.*** Mantenimiento que se realiza en el lugar donde el elemento se utiliza o está almacenado normalmente (UNE-EN 13306, 2018).

o. ***Auto mantenimiento.*** mantenimiento autónomo. Acciones de mantenimiento que son realizadas por un operador de explotación,

estas acciones de mantenimiento incluyen la recopilación de datos (UNE-EN 13306, 2018).

p. ***Mantenimiento de rutina.*** Actividades de mantenimiento preventivo simples regulares o repetidas. El mantenimiento de rutina puede incluir, por ejemplo, la limpieza, el apriete de conexiones, la sustitución de ***conectores***, la comprobación del nivel de líquidos, la lubricación, etc.

q. ***Contratación externa del mantenimiento.*** Contratación externa de todas o de parte de las actividades de mantenimiento de una organización durante un periodo de tiempo establecido. En el caso de que se contraten externamente de forma completa todas las actividades de mantenimiento, esto se conoce como "externalización completa del mantenimiento" (UNE-EN 13306, 2018).

El empleo de una clasificación estandarizada del mantenimiento, bajo normativas como la UNE-EN 13306 (2018), resulta indispensable para mitigar la ambigüedad conceptual presente en diversas fuentes literarias e informales de la red, permitiendo la comunicación verbal o escrita entre profesionales del mantenimiento y previniendo confusiones en el empleo de la terminología en la documentación de mantenimiento (Pérez, 2021).

En la Figura 1.4 se detalla la jerarquía y relación entre los tipos de mantenimiento, categorizando las diversas modalidades de intervención técnica con el propósito de optimizar la fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los activos físicos industriales. Esta clasificación

sistemática permite diferenciar los niveles de actuación preventiva, correctiva dentro de la gestión estratégica de una organización.

El hecho de que el mantenimiento correctivo diferido sea una actividad programada como se indica en la Figura 1.5 no se le debe confundir con es una actividad preventiva ya que esencialmente se produce por la ocurrencia imprevista de una avería como se observa en la Figura 1.4.

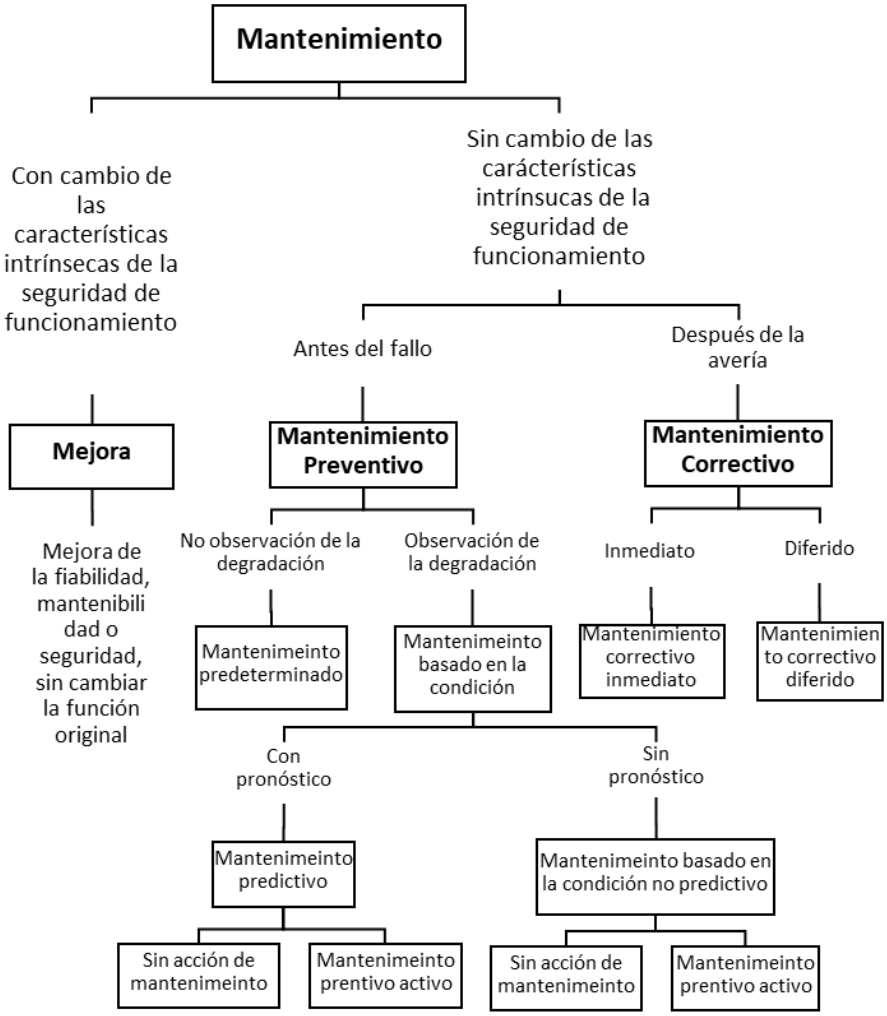

Figura 1.4. Tipos de mantenimiento

Fuente: UNE-EN 13306 (2018)

Nota. El diagrama muestra la clasificación general del mantenimiento en función de la intervención antes o después de la falla, la observación del estado de degradación y la existencia o no de un pronóstico.

Figura 1.5. Mantenimiento programado versus no programado

Fuente: UNE-EN 13306 (2018)

Nota. Se representa la clasificación del mantenimiento según su planificación y momento de intervención con respecto a la detección de la avería.

La Figura 1.6 muestra los distintos tipos de mantenimiento relacionados con las actividades preventivas y correctivas que se deben ejecutar para garantizar o devolver a un elemento a la condición en la que pueda cumplir con la función requerida, mismas que se las debe encasillar dentro de la clasificación descrita en la Figura 4, y considerar como un desglose en detalle de la misma, de tal manera que las actividades de la Figura 6 aportan con información cronológica para la ejecución de actividades de mantenimiento.

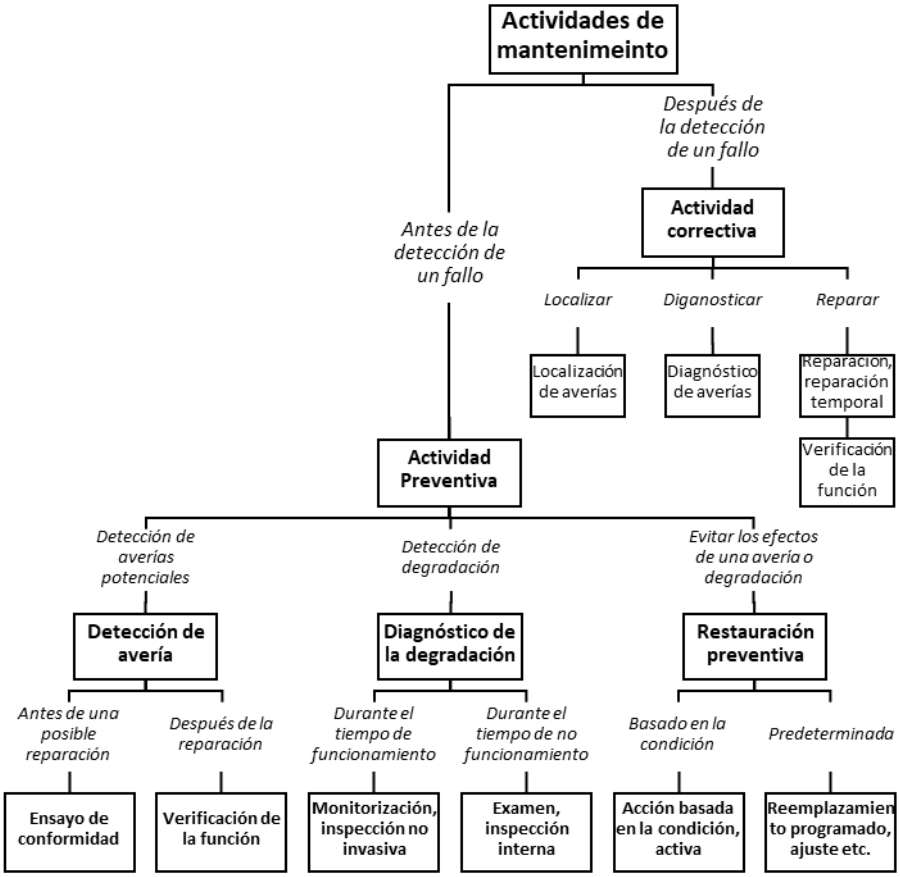

Figura 1.6. Actividades de mantenimiento

Fuente: UNE-EN 13306 (2018)

Nota. Se representa la clasificación del mantenimiento según su planificación y momento de intervención con respecto a la detección de la avería.

1.3 Historia del mantenimiento

La historia del mantenimiento es tan antigua como la historia misma de la humanidad, ya que desde tiempos remotos las personas han tenido la

necesidad de mantener y reparar herramientas, utensilios y estructuras para garantizar su funcionamiento adecuado y prolongar su vida útil. Mas adelante se presenta un resumen de la historia de la evolución del mantenimiento a través de las diferentes eras y revoluciones industriales que ha marcado el desarrollo tecnológico moderno.

1.3.1 Período preindustrial

El período preindustrial contempla los acontecimientos del mantenimiento desde la prehistoria hasta la edad media.

a. ***Prehistoria y antigüedad.*** En esta época, los seres humanos dependían en gran medida de la caza, la pesca y la recolección, el mantenimiento se centraba en la reparación de herramientas de piedra, madera y otros materiales para garantizar su eficacia. En las civilizaciones antiguas como la egipcia, la mesopotámica y la griega, se desarrollaron técnicas de construcción y mantenimiento para edificar monumentos, templos y estructuras que resistieran el paso del tiempo (Parra & Crespo, 2019).

b. ***Edad media.*** Durante este período, el mantenimiento de herramientas y estructuras continuó siendo importante, especialmente en el contexto de la agricultura y la construcción de castillos, fortificaciones y catedrales, se empleaban métodos tradicionales de reparación y conservación transmitidos a través del paso de los años (Mora, 2012).

1.3.3 Revolución industrial

Conjuntamente con el desarrollo industrial el mantenimiento ha ido evolucionando y adaptando tecnologías de las cinco revoluciones industriales conocidas hasta la fecha.

a. ***Primera revolución industrial (aprox. 1760-1840).*** Marcada por la mecanización de la producción, especialmente en la industria textil, siderúrgica, la invención de la máquina de vapor, dando origen a la fábrica y la producción en masa. En este período, Eli Whitney introdujo por primera vez la noción de piezas intercambiables (repuestos estandarizados) en 1798 en la industria armamentista y manufacturera, reduciendo significativamente la duración de los mantenimientos correctivos ya que en ese entonces las piezas rotas tenían que volverse a construir a la medida ya que las máquinas eran ensambladas una a la vez con elementos que se fabricaban con dimensiones ligeramente diferentes para que se puedan ir ajustando a los requerimientos individuales de cada máquina (Montilla, 2019).

b. ***Segunda revolución industrial (aprox. 1870-1914).*** Caracterizada por el crecimiento globalizado de la innovación y por nuevas fuentes de energía como el gas o la electricidad, nuevos materiales como el acero o el petróleo, nuevos sistemas de transporte como el avión, el automóvil o nuevas máquinas a vapor, nuevos métodos de comunicación como el teléfono o la radio. Se destacó por la consolidación del mantenimiento correctivo como el enfoque predominante, en el que se adopta la intercambiabilidad de componentes y el uso de repuestos estandarizados, lo cual

optimizó las reparaciones técnicas en las líneas de montaje, con lo que en Estados Unidos se da inicio a los primeros departamentos organizacionales especializados en mantenimiento correctivo (Montilla, 2019).

c. ***Tercera revolución industrial (aprox. 1969-2000).*** Marcada por la informática, la automatización, las telecomunicaciones, internet y la biotecnología, que fusionaron lo digital con lo analógico, transformando la producción, impulsaron la globalización y la sociedad de la información. El mantenimiento evolucionó significativamente con el advenimiento de nuevas tecnologías y enfoques. Se impulsó la transición hacia la fiabilidad y el monitoreo de condición mediante la electrónica y la automatización. Se destaca la implementación del RCM y el TPM para optimizar la seguridad operativa, la calidad y la disponibilidad sistémica (Moubray, 2004). Se observa que este período priorizó la protección ambiental y la gestión de riesgos, apoyándose en sistemas computarizados de gestión (Pérez, 2021).

d. ***Cuarta revolución industrial (desde el 2000).*** Es la época actual donde se ha difundido el Internet de las cosas (IoT), Big Data, Inteligencia Artificial (IA), energías renovables, sistemas ciberfísicos; dando lugar a lo que se conoce como Mantenimiento 4.0, donde la gestión del mantenimiento ha sufrido un cambio significativo mediante la convergencia del Internet de las Cosas (IoT), el Big Data y la Inteligencia Artificial, permitiendo el tránsito hacia modelos predictivos y prescriptivos de alta precisión. Se destaca la consolidación de la gestión de activos bajo la norma ISO 55000, la implementación de gemelos digitales para

la simulación de escenarios y el uso de sistemas ciberfísicos para garantizar la interconectividad total en las fábricas inteligentes (Mora-Gutiérrez, 2022; Pérez, 2021).

e. ***Quinta revolución industrial (en desarrollo).*** Centrada no solo en la automatización, sino en la colaboración profunda entre humanos y máquinas (cobots), la personalización masiva de productos, y un enfoque renovado en la sostenibilidad, el bienestar humano y la resiliencia como pilares del desarrollo industrial futuro, impulsado por tecnologías como la IA y el Big Data. Esta tecnología permitirá que el mantenimiento se adapte proactivamente ante crisis globales o interrupciones en la cadena de suministro. El empleo de sistemas cognitivos y analítica prescriptiva de última generación en el mantenimiento garantizará la continuidad de los procesos operativos en entornos de alta incertidumbre (Pérez, 2021).

La Figura 1.7 sintetiza la evolución del mantenimiento a través de las distintas revoluciones industriales conocidas.

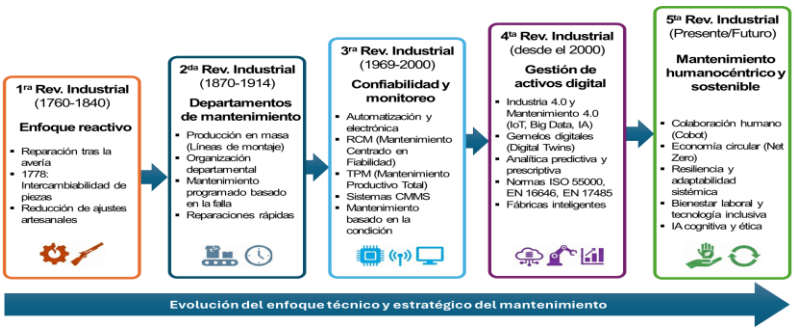

Figura 1.7. Evolución del mantenimiento en las distintas revoluciones industriales

Fuente: Elaboración propia

Nota. Se ilustra la progresión del mantenimiento desde las acciones correctivas hasta la gestión estratégica de los activos físicos con un enfoque de sostenibilidad y centrado en el ser humano, impulsado por las tecnologías de cada revolución industrial.

1.3.4 Evolución de la gestión de los activos físicos

Se considera que, dado la gran importancia del mantenimiento enfocado desde la perspectiva de la gestión de activos físicos, es importante analizar la evolución de la normativa creada en este contexto y que se encuentra disponible para su implementación (Parra & Crespo, 2019).

El desarrollo formal de la gestión de activos físicos y el mantenimiento inicia en abril del 2004 con la publicación del proyecto de norma PAS 55 (2004), cuyas siglas provienen del inglés *Publicly Available Specification*, impulsado por el Instituto de Gestión de Activos (IAM, del inglés *Institute of Asset Management*), en colaboración con el Instituto de Estándares Británicos (BSI, del inglés *british standards institute*), estableciendo un primer marco de referencia estandarizado para la gestión optimizada de activos físicos, incorporando preceptos como la generación de valor, la gestión a los largo del ciclo de vida y la relación entre la gestión del mantenimiento y el logro de los objetivos y estrategias organizacionales.

Posteriormente, en septiembre del 2008, la BSI llevó a cabo una revisión significativa de la PAS 55-1 (2008), consolidando su estructura y requisitos técnicos para fortalecer su aplicación como una especificación disponible públicamente de alto rigor industrial. Esta ese

entonces tomó una mayor fuerza global la gestión de activos físicos, ya que varias empresas lo habían implementado.

En enero del 2014 se marcó un hito de convergencia internacional con la publicación de la serie de normas ISO 55000 (2014) sobre gestión de activos tangibles, intangibles, financieros y no financieros de carácter certificable, tal cual cualquier norma de los sistemas de gestión, con la característica de ser una norma transversal y de responsabilidad de todas las áreas de una organización. En noviembre del mismo año, El Comité Europeo de Normalización (CEN) publica la norma EN 16646 (2014), la cual se define el rol específico del mantenimiento dentro de la gestión de los activos físicos.

Como consecuencia de la adopción global de la estandarización ISO, en enero del 2015 se procedió al retiro oficial de la PAS 55, marcando la transición definitiva de una especificación técnica británica centrada en la gestión de los activos físicos hacia un consenso normativo internacional aplicado a la gestión de todo tipo de activos. Como un justo reconocimiento, la PAS 55 (2008) figura como la principal referencia bibliográfica de la ISO 55000 (2014).

Finalmente, la evolución normativa continuó en junio del 2021 con la publicación de la norma EN 17485 titulada "Mantenimiento. Mantenimiento dentro de la gestión de activos físicos. Marco para mejorar el valor de los activos físicos a lo largo de todo su ciclo de vida", fue publicada inicialmente en 2021 como BS EN 17485 (2021) y luego adoptada en español como UNE-EN 17485 (2023). Esta norma introduce métodos y procedimientos para integrar el mantenimiento con

la gestión de activos físicos, siendo una continuación de la norma EN 16646 (2014).

La Figura 1.8 Evolución de la normativa de gestión de activos y mantenimiento indica la línea de tiempo evolutiva de los estándares internacionales de la gestión de activos físicos y su relación con el mantenimiento.

Figura 1.8. Evolución de la normativa de gestión de activos y mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Nota. La figura ilustra la progresión cronológica y la interrelación entre las especificaciones técnicas iniciales (PAS 55) y las normas internacionales vigentes (ISO 55000, EN 16646, EN 17485) entre los años 2004 y 2021.

1.4 Análisis de las generaciones del mantenimiento

Las generaciones del mantenimiento están conformadas por lapsos de tiempo en los que se ha logrado transformaciones significativas en el desarrollo y aplicación de técnicas y metodologías para el mantenimiento marcando el avance científico y contribuyendo con el progreso de los distintos sectores industriales como el productivo, tecnológico, energético, petrolero, comercial, transporte terrestre, aéreo y marino, telecomunicaciones, militar, hospitalaria, hotelera, entre otras (Lin et al., 2025; Terpenny et al., 2025).

La evolución del mantenimiento industrial como un proceso de transformación continua se divide cronológicamente en cuatro generaciones (Tabla 1.3) que responden a las necesidades cambiantes de los sistemas productivos. Este desarrollo ha permitido transitar desde acciones meramente reactivas hacia modelos de gestión integral de los activos físicos y tecnologías avanzadas (Montilla, 2019).

1.4.1 Primera generación

La cual se extiende hasta mediados del siglo XX, caracterizada por el predominio del mantenimiento correctivo. En esta etapa, se repara el equipo únicamente tras la ocurrencia de una avería, dado que la mecanización industrial no era aun altamente compleja ni crítica para la continuidad de las organizaciones industriales de la época (Mora, 2012).

1.4.2 Segunda generación

Entre 1950 y 1980, período en el cual surge el mantenimiento preventivo mediante reparaciones programadas a intervalos de tiempo fijos sin

importar el estado de los elementos. Se observa en este lapso una mayor preocupación por la disponibilidad de la planta, la reducción de costos operativos y el aumento de la vida útil de los equipos (Pérez, 2021).

1.4.3 Tercera generación

Desarrollada entre 1980 y el año 2000, marcada por la integración del mantenimiento basado en la condición, misma que permitió obtener actividades preventivas más eficaces y con un menor costo. Desde la aviación comercial del occidente se introducen metodologías del Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM, del inglés *Reliability Centered Maintenance*) hacia la industria en general. También se inicia con la implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM, del inglés *Total Productive Maintenance*) que se originó en una filial de Toyota fabricante de componentes automotrices llamada Nippondenso en Japón. Con estas nuevas metodologías se prioriza la seguridad y la calidad (Mora, 2012; Pérez, 2021).

1.4.4 Cuarta generación

A partir del siglo XXI, la cual se orienta hacia la gestión integral de los activos físicos, la eficiencia energética y la gestión del riesgo. Se destaca la incorporación de tecnologías de la Industria 4.0 a los que se conoce como ***Mantenimiento 4.0***, tales como el internet de las cosas (IoT) y sistemas expertos para la toma de decisiones y la publicación de normas para la gestión de los activos físicos (Pérez, 2021).

Tabla 1.3. Evolución histórica y técnica de las generaciones del mantenimiento

Generación	Período	Características Principales	Técnicas Destacadas
Primera	Hasta 1950	Mantenimiento correctivo puro	Reparación tras falla
Segunda	1950 - 1980	Mayor disponibilidad y vida útil	Preventivo programado
Tercera	1980 - 2000	Fiabilidad y seguridad	MBC, RCM, TPM
Cuarta	Siglo XXI	Gestión de activos físicos y riesgo	Gestión de activos físicos. Industria 4.0, Big Data, IA.

Fuente: Mora (2012) y Pérez (2021)

Nota. Se resumen los hitos temporales y técnicos que definen la administración del mantenimiento moderno.

CAPÍTULO II

2 ESTRUCTURA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

Hablar de la estructura del departamento de mantenimiento hace referencia a un grupo social estructurado u organizado, permanente y con un objetivo específico que se caracteriza por tener una jerarquía de autoridad y responsabilidad de trabajos, con personas que desarrollan funciones y actividades con una coordinación racional e intencionada que actúan con el entorno (Bányai, 2024; Lin et al., 2025).

Se puede evidenciar la existencia de una estructura cuando los elementos del sistema se integran en una totalidad para designar trabajos y tareas entre un grupo de personas que buscan lograr fines y metas conjuntas, buscando crecer en la organización (Małgorzata, 2024).

2.1 Propósito del mantenimiento en la industria

El propósito del mantenimiento en la industria es garantizar que los equipos, maquinaria y sistemas industriales funcionen de manera eficiente, confiable y segura durante toda su vida útil (Crespo et al., 2004). Algunos de los objetivos específicos del mantenimiento en la industria incluyen:

- **Minimizar tiempos de inactividad:** El mantenimiento preventivo se realiza para identificar y corregir problemas antes de que causen interrupciones en la producción, lo que ayuda a minimizar los tiempos de inactividad no planificados (Montilla, 2019).

- **Optimizar la disponibilidad de equipos:** Al mantener los equipos en condiciones óptimas de funcionamiento, se garantiza su disponibilidad cuando sea necesario para la producción, evitando retrasos y pérdidas de producción (Parra & Crespo, 2019).
- **Mejorar la seguridad:** Un mantenimiento adecuado ayuda a prevenir accidentes y lesiones al asegurar que los equipos estén en condiciones seguras de operación (Parra & Crespo, 2019).
- **Prolongar la vida útil de los activos físicos:** El mantenimiento preventivo y correctivo ayuda a prolongar la vida útil de los equipos, reduciendo así la necesidad de reemplazos costosos y contribuyendo a un uso más eficiente de los recursos (Hastings, 2015).
- **Optimizar los costos de operación:** Si bien el mantenimiento puede ser costoso directamente, prevenir averías y optimizar la eficiencia reduce los costos de reparación, el tiempo de inactividad y los costos de reemplazo lo que genera ahorros a largo plazo (Hastings, 2015).
- **Cumplir con regulaciones y estándares:** Un mantenimiento adecuado es fundamental para cumplir con las normas de seguridad salud y medio ambiente, así como con los estándares de calidad y producción (Montilla, 2019).

2.2 Introducción a la organización del mantenimiento

Las organizaciones de mantenimiento son esenciales para garantizar que las actividades de mantenimiento dentro de una organización se realicen de manera efectiva y eficiente (Mora, 2012).

A continuación, se detallan los conceptos básicos de las organizaciones de mantenimiento:

a. **Estructura organizativa:** La estructura organizativa de un departamento de mantenimiento varía según el tamaño y la complejidad de la organización. Puede ser centralizado, donde todas las actividades de mantenimiento son administradas por un departamento, o puede ser descentralizado, donde diferentes áreas o unidades de la organización tienen sus propias responsabilidades de mantenimiento (Gramsch, 2008).
b. **Funciones y responsabilidades:** En una organización de mantenimiento, las funciones y responsabilidades de cada miembro del equipo están claramente definidas. Estos incluyen, entre otros, técnicos de mantenimiento, supervisores, gerentes de mantenimiento e ingenieros de confiabilidad, cada persona tiene tareas específicas que contribuyen a alcanzar los objetivos del departamento de mantenimiento (Moubray, 2004).
c. **Planificación y programación:** La organización del mantenimiento implica establecer procesos para la planificación y programación de las actividades de mantenimiento, es decir, implica la priorización de tareas, la asignación de recursos personal, equipos y materiales, la programación de mantenimiento, y la coordinación con otros departamentos para minimizar fallas en la producción (Mora, 2012).
d. **Gestión de activos físicos:** La organización del mantenimiento también se ocupa de la gestión de activos físicos, que implica la identificación, evaluación y seguimiento del rendimiento de los equipos y activos físicos de la organización, puede incluir la

implementación de estrategias de mantenimiento preventivo para maximizar la disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad de los activos físicos (Parra & Crespo, 2019).

e. **Gestión del talento humano:** El éxito del departamento de mantenimiento depende en gran medida del talento humano, por lo tanto, la organización del mantenimiento también implica la contratación, capacitación, desarrollo y retención de personal calificado y competente incluyendo programas de formación técnica, certificaciones y oportunidades de crecimiento profesional (Parra & Crespo, 2019).

2.3 Estructura organizacional del departamento de mantenimiento

La estructura organizacional del departamento de mantenimiento puede variar según el tipo de industria, el tamaño de la organización y la complejidad de los equipos y activos físicos que se deben mantener (García & Papaelias, 2020). Sin embargo, a continuación, se presenta una estructura organizacional típica que puede encontrarse en muchos departamentos de mantenimiento (Figura 2.1):

a. **Gerente, director o jefe de mantenimiento:** Este es el líder del departamento de mantenimiento y generalmente reporta al director de operaciones o al gerente de planta. Sus responsabilidades incluyen la supervisión general del departamento, el desarrollo de estrategias de mantenimiento, la gestión de presupuestos, la coordinación con otros departamentos

y la garantía de que se cumplan los objetivos de mantenimiento de la organización (Crespo et al., 2004).

b. **Supervisor de mantenimiento:** Bajo la autoridad del gerente de mantenimiento, los supervisores de mantenimiento supervisan las actividades diarias del personal de mantenimiento. Ellos asignan tareas, programan actividades, supervisan el progreso de los trabajos y se aseguran de que se cumplan los estándares de seguridad y calidad (Dhillon, 2002).

c. **Personal de mantenimiento**: Este grupo incluye técnicos y especialistas en mantenimiento, tales como mecánicos, electricistas, técnicos de instrumentación, técnicos de HVAC, entre otros. Su función principal es llevar a cabo las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo activos físicos de la organización, siguiendo los procedimientos y protocolos establecidos (Campbell et al., 2011).

d. **Ingeniero de confiabilidad o ingeniero de mantenimiento:** Este profesional se encarga de optimizar la fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos y activos físicos a través de estrategias de mantenimiento preventivo. Realiza análisis de datos, identifica problemas de confiabilidad, propone mejoras en los procesos y equipos, y trabaja en estrecha colaboración con otros departamentos para maximizar el rendimiento de los activos físicos (Parra & Crespo, 2019).

e. **Almacén y gestión de repuestos**: Este equipo se encarga de gestionar el inventario de repuestos y materiales necesarios para llevar a cabo las actividades de mantenimiento. Esto incluye la adquisición, recepción, almacenamiento y distribución de

repuestos, así como el seguimiento de inventario y la gestión de proveedores (González, 2006).

f. **Planificador de mantenimiento:** Esta función implica la planificación y programación de las actividades de mantenimiento. El planificador de mantenimiento coordina con los equipos de producción y otros departamentos para programar las interrupciones en la producción, asigna recursos y asegura que las tareas se realicen de manera oportuna y eficiente (Crespo et al., 2004).

Esta estructura organizacional proporciona una base sólida para el funcionamiento efectivo del departamento de mantenimiento, garantizando que se cumplan los objetivos de disponibilidad, fiabilidad, mantenibilidad y eficiencia de los activos físicos industriales. Es importante destacar que esta estructura puede variar según las necesidades específicas de cada industria (Crespo et al., 2004).

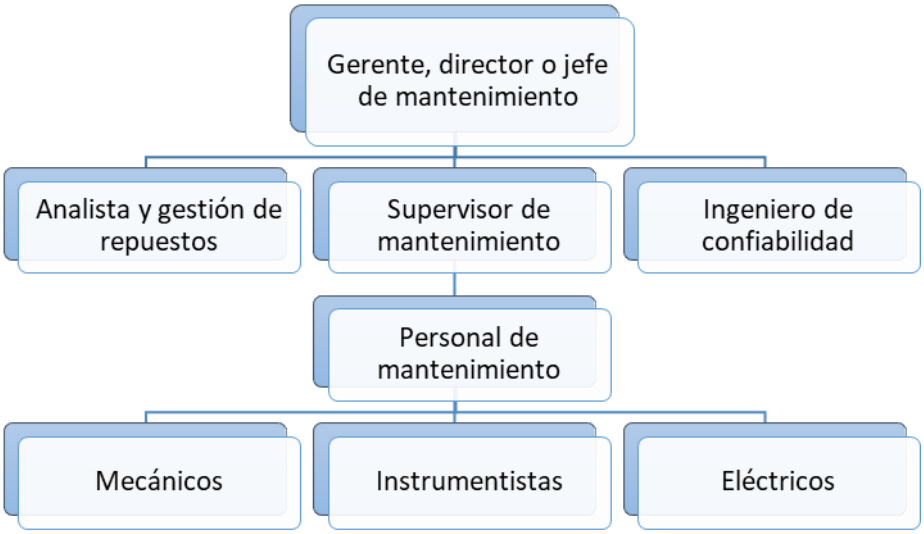

Figura 2.1. Estructura organizacional del departamento de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Nota. La figura representa la estructura organizacional del departamento de mantenimiento.

2.4 Estructura centralizada y descentralizada del mantenimiento

La estructura organizativa del departamento de mantenimiento puede ser centralizada o descentralizada, cada una con sus propias características y ventajas a continuación, se describen ambas estructuras:

2.4.1 Estructura centralizada

La gran fortaleza del esquema centralizado es la planificación, programación y optimización de los recursos, sobre todo en las grandes empresas que tienen múltiples líneas de producción y dispersas en diferentes sitios geográficos (Mobley, 2004). En una estructura centralizada del departamento de mantenimiento, todas las actividades y decisiones relacionadas con el mantenimiento se gestionan desde un solo punto central dentro de la organización algunas características de esta estructura incluyen:

- **Unidad de control única:** Existe un único equipo de gestión de mantenimiento responsable de planificar, programar y ejecutar todas las actividades de mantenimiento en toda la organización (Montilla, 2019).
- **Coordinación centralizada:** La coordinación de las actividades de mantenimiento se realiza de manera centralizada, lo que facilita la comunicación y la estandarización a organización (García & Papaelias, 2020).
- **Mayor control y supervisión:** La alta dirección tiene un mayor control y supervisión sobre las actividades de mantenimiento, lo que puede facilitar la implementación de políticas y estrategias de mantenimiento coherentes (González, 2006).
- **Economías de escala:** La centralización puede conducir a economías de escala al permitir una mejor utilización de los recursos y una planificación más eficiente de las actividades de mantenimiento (Smith y Mobley 2008).

2.4.2 Estructura descentralizada

Con la descentralización se puede mantener a un administrador común de mantenimiento de la empresa, teniendo responsables del mantenimiento en cada área. Hasta es posible reportar directamente al gerente de operaciones (Moubray, 2004).

En una estructura descentralizada del departamento de mantenimiento, las responsabilidades y decisiones de mantenimiento se distribuyen entre múltiples ubicaciones o unidades dentro de la organización (Gramsch, 2008). Algunas características de esta estructura incluyen:

- **Autonomía de las unidades:** Cada unidad o ubicación dentro de la organización tiene su propio equipo de mantenimiento y tiene autonomía para tomar decisiones y gestionar sus propias actividades de mantenimiento (Mora, 2012).
- **Flexibilidad y adaptabilidad:** La estructura descentralizada puede ser más flexible y adaptable a las necesidades específicas de cada unidad o ubicación, lo que permite una respuesta más rápida a los problemas y una mayor capacidad de adaptación a los cambios en el entorno operativo (Mora, 2012).
- **Mayor especialización:** Cada unidad puede desarrollar su propia especialización en función de sus necesidades particulares, lo que puede llevar a un mayor conocimiento técnico y mejores prácticas de mantenimiento en general (Cárcel, 2014).
- **Menos dependencia en la coordinación central:** Las unidades descentralizadas tienen menos dependencia de la coordinación

centralizada, lo que puede evitar posibles cuellos de botella y agilizar la toma de decisiones (Montilla, 2019).

La elección entre una estructura centralizada o descentralizada del departamento de mantenimiento dependerá de diversos factores, como el tamaño y la complejidad de la organización, la naturaleza de las operaciones y la cultura empresarial.

En muchos casos, se puede optar por una estructura híbrida que combine elementos de ambas para aprovechar las ventajas de cada enfoque.

2.5 Factor humano en el mantenimiento

El factor humano desempeña un papel crucial en el mantenimiento de equipos e instalaciones industriales. Aunque el mantenimiento puede implicar el uso de tecnología avanzada y procesos automatizados, el papel de los trabajadores humanos sigue siendo esencial. Aquí hay varios aspectos importantes del factor humano en el mantenimiento:

- **Habilidades y capacitación:** Los trabajadores de mantenimiento deben poseer habilidades técnicas adecuadas y recibir capacitación regular para mantenerse al día con los avances tecnológicos y las mejores prácticas en mantenimiento. Esto incluye conocimientos en áreas como mecánica, electricidad, electrónica, instrumentación, neumática, hidráulica, entre otros.
- **Experiencia y conocimiento**: La experiencia acumulada por los trabajadores de mantenimiento a lo largo del tiempo es inestimable. La capacidad para diagnosticar problemas, identificar soluciones efectivas y realizar reparaciones de manera eficiente

está fuertemente influenciada por la experiencia y el conocimiento acumulado.

- **Seguridad:** El mantenimiento industrial puede ser peligroso si no se lleva a cabo correctamente. Es fundamental que los trabajadores estén capacitados en prácticas de seguridad y cumplan con los procedimientos de seguridad establecidos para protegerse a sí mismo y a otros mientras realizan sus tareas de mantenimiento.
- **Trabajo en equipo:** En muchos casos, el mantenimiento requiere la colaboración de varios trabajadores que pueden tener habilidades complementarias. La capacidad para trabajar en equipo de manera efectiva es crucial para garantizar que las tareas de mantenimiento se realicen de manera coordinada y eficiente.
- **Comunicación:** La comunicación efectiva entre los trabajadores de mantenimiento, así como con otros departamentos dentro de la organización, es esencial para garantizar que se comprendan los requisitos de mantenimiento, se coordinen las actividades y se aborden los problemas de manera oportuna.
- **Motivación y compromiso:** Los trabajadores motivados y comprometidos son más propensos a desempeñarse bien en sus funciones de mantenimiento. Reconocer y recompensar el buen desempeño, proporcionar oportunidades de desarrollo profesional y fomentar un ambiente de trabajo positivo puede ayudar a mantener alta la motivación y el compromiso del equipo de mantenimiento (López, 2023).

CAPÍTULO III

3 SISTEMATIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

Todas las actividades de mantenimiento sean, preventivas o correctivas requieren de una gestión para su programación, monitoreo y correcta ejecución, esto conlleva a tener todos los recursos necesarios en el momento adecuado, estos recursos pueden ser materiales, repuestos, herramientas, mano de obra e información técnica. Se debe crear un sistema organizado, siguiendo procesos establecidos bajo en control de documentación necesario (Montilla, 2019).

Generalmente a la planificación se la puede dividir estratégicamente en tres niveles, la planificación estratégica, táctica y operativa.

La planificación estratégica influencia a toda la estructura de la organización en otras palabras es la misión a largo plazo definida de manera estratégica, es un ejercicio administrativo que enfoca la dirección de la organización ha lograr resultados esperados, está definida y desarrollada por la parte jerárquica más alta en la empresa, involucra las relaciones entre todos los departamentos de una empresa. Generalmente la planificación estratégica está definida a largo plazo, encaminada a conseguir objetivos globales (Gramsch, 2008). En la Figura 3.1 se puede ver un ejemplo de los departamentos que tiene una empresa, cabe anotar que todos ellos tienen relaciones importantes con el departamento de mantenimiento.

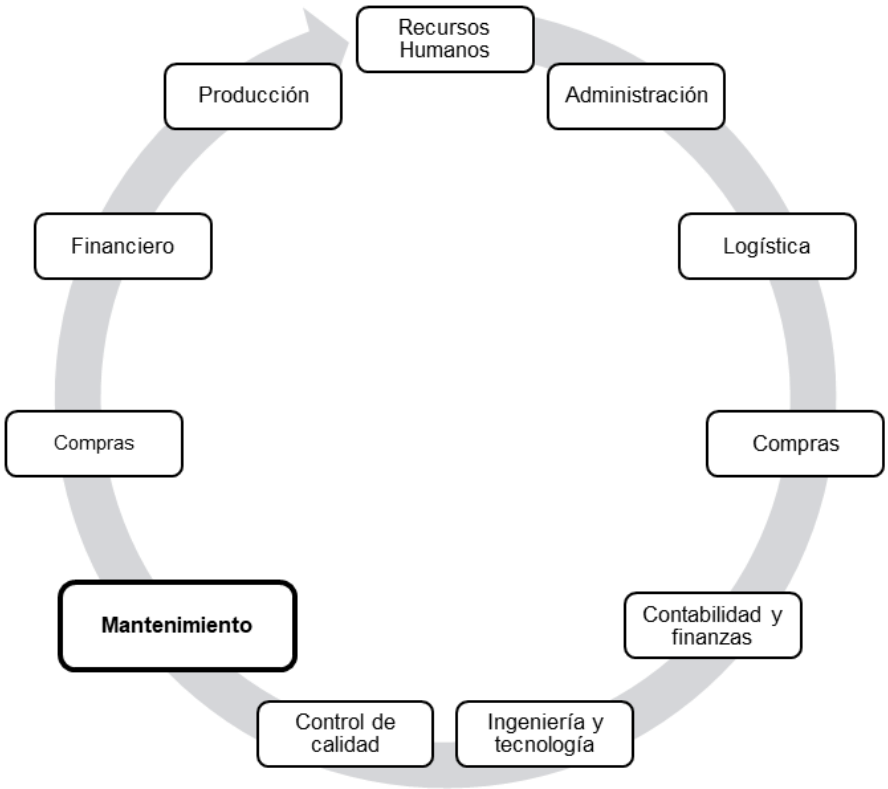

Figura 3.1. Control Operacional de la Planta

Fuente: Mobley (2004)

Nota. La figura representa como muestra cómo el área de mantenimiento sostiene la operación continua y confiable de todos los procesos de la planta, integrándose con producción, logística, finanzas y recursos humanos.

La planificación táctica toma decisiones a mediano y corto plazo establece políticas y objetivos, define actividades como desarrollar estrategias como la implementación del Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM, del inglés *Reliability Centered Maintenance*),

Implementación de la optimización del mantenimiento planificado (PMO, del inglés *Planned Maintenance Optimization*), selección de un Sistema informatizado de gestión de mantenimiento (GMAO, del inglés *Computerized Maintenance Management System*). La planificación táctica es crucial su relación con otros departamentos de la empresa (García & Papaelias, 2020).

La planificación operativa es la que se realiza día a día se centra en el desarrollo y aplicación de estrategias y decisiones tomadas en los niveles anteriores, un ejemplo es el cumplimiento de la matriz de mantenimiento preventivo, que parte desde la revisión del cronograma de mantenimiento, su cumplimiento a través de las órdenes de trabajo que involucra lo preventivo y lo correctivo (Torres, 2018).

Una buena coordinación entre los departamentos de una empresa es primordial para el cumplimiento correcto de estas actividades y reducir los retardos en los trabajos.

Resumiendo, estos tres niveles jerárquicos se entrelazan para obtener un excelente desempeño empresarial como se indica en la Figura 3.2.

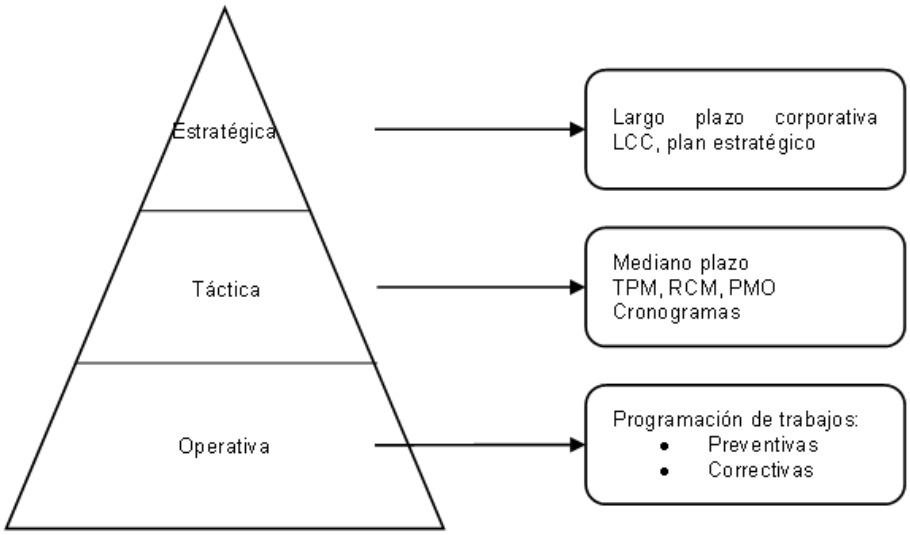

Figura 3.2. Nivel de planeación

Fuente: García (2003)

Nota. La figura representa la gestión del mantenimiento se organiza en tres niveles estratégico a largo plazo, táctico a mediano plazo y operativo.

3.1 Documentos de mantenimiento

El mantenimiento como cualquier departamento de una empresa requiere de un flujo de información con los otros departamentos, hay que diferenciar dos tipos de documentos necesarios para organizar la gestión del mantenimiento como se menciona la norma UNE-EN 13460 (2009) estos son documentos de la fase preparatoria y documentos de la fase operativa.

Es recomendable que los documentos de mantenimiento tengan un encabezado que les permita identificar rápidamente y contiene información general sobre este (Figura 3.3), como:

- Logo,
- nombre de la empresa,
- nombre del documento,
- código (doc, reg, etc),
- versión,
- fecha de elaboración y modificación; y
- nombre de quienes elaboró, reviso y aprobó el documento.

LOGO DE LA EMPRESA NOMBRE DE LA EMPRESA	NOMBRE DEL DOCUMENTO	CÓDIGO: DOC-MAN-001 VERSIÓN: 1 FECHA ELABORACIÓN: DD-MM-AAAA FECHA MODIFICACIÓN: DD-MM-AAAA
Elabora: Ing. Nombre Apellido	Revisa: Ing. Nombre Apellido	Aprueba: Ing. Nombre Apellido

Figura 3.3. Encabezado de un documento

Fuente: Elaboración propia

Nota. Encabezado recomendado para los documentos de mantenimiento.

3.2 Documentos de la fase preparatoria

Entre los documentos de la fase preparatoria se tiene:

- Datos técnicos,
- Manual de operación,
- Manual de mantenimiento,

- Relación entre componentes,
- Planos (disposición, montaje, engase, eléctricos),
- Diagramas de tuberías e instrumentación,
- Protocolo de pruebas, y
- Certificados.

De entre los cuales se detallan los más comunes.

3.2.1 Datos técnicos

La hoja técnica es un documento que registra las especificaciones proporcionadas por el fabricante del elemento, misma que puede ser información principal o secundaria, contiene la siguiente información mínima:

- Fabricante (datos del contacto),
- Fecha de fabricación,
- (marca) modelo/tipo/número de serie,
- Dimensiones,
- Peso,
- Capacidad,
- Requisitos de potencia y servicio,
- Especificaciones de las interfases, y
- Otros: referidos a naturaleza física, detalles de montaje y datos de operación.

3.2.2 Manual de operación

Este documento registra las instrucciones técnicas para conseguir un desempeño funcional idóneo de acuerdo con sus especificaciones técnicas y condiciones de seguridad, contiene la siguiente información mínima:

- Modelo/tipo,
- Fecha del manual (edición),
- Detalles técnicos del elemento,
- Descripción funcional del elemento,
- Capacidades y desempeño funcionales (inherentes o de diseño),
- Diseño, seguridad y margen de operación,
- Procedimientos para:
  - Puesta en servicio/puesta en marcha,
  - Operación en servicio continuo, y
  - Parada controlada
- Incidencias y emergencias,
- Limitaciones de operación/precauciones, y
- Preceptos legales y reglamentos que le conciernen.

3.2.3 Manual de mantenimiento

Este documento registra las instrucciones técnicas destinadas a preservar o restituir un elemento a un estado en el que pueda desarrollar las funciones requeridas, contiene la siguiente información mínima:

- Modelo/tipo,
- Fecha del manual (edición),

- Detalles técnicos del elemento,
- Operaciones/acciones de mantenimiento preventivo:
  - Inspecciones,
  - Calibración/ajuste,
  - Sustitución de componentes, y
  - Lubricación.
- Procedimientos para:
  - Búsqueda de causa de averías,
  - Desmontaje/montaje,
  - Reparación, y
  - Ajuste
- Diagramas causa-efecto,
- Herramientas especiales requeridas,
- Repuestos recomendados, y
- Requisitos de seguridad (señales, epp, control de fuente de energía, entre otros).

3.3 Documentos de la fase operativa

La fase operativa del mantenimiento sigue el proceso que se indica en la Figura 3.4, donde se puede observar que empieza (1) con una solicitud del trabajo la cual es generada por cualquier departamento de una empresa especialmente el de producción tras ocurrir una falla.

El departamento de mantenimiento recibe la solicitud de trabajo y tras su análisis genera una orden de trabajo (3) para atender dicha solicitud. También el departamento de mantenimiento puede generar una orden de

trabajo tras revisar la planificación del mantenimiento, esta sería una orden de trabajo preventiva (2).

Estas órdenes de trabajo son programadas (actividad detallada, fecha de ejecución y recursos), para obtener materiales y repuestos se debe generara otro documento llamado solicitud de material (4), se procede a ejecutar la orden de trabajo (5), culminada la orden se procede a cerrarla (6) con la información recolectada en ella se procede a la elaboración de informes (7), análisis y registros históricos de tareas, fallas, parámetros, etc (Montilla, 2019).

Cabe anotar que una orden de trabajo es un documento en doble sentido, lo que significa que en ella se entrega y recolecta información a los ejecutores del trabajo como se indica en el flujo de proceso de la Figura 3.4.

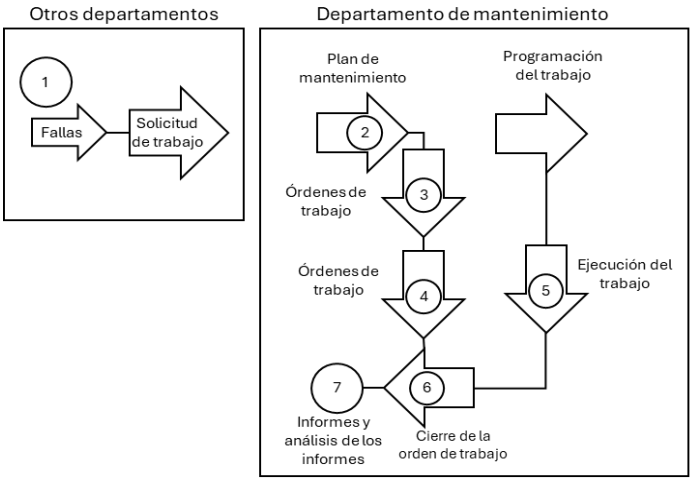

Figura 3.4. Flujo del proceso de gestión de mantenimiento y órdenes de trabajo

Fuente: Mobley (2004)

Nota. El flujo del proceso de mantenimiento desde la detección de la falla y la solicitud de trabajo en otros departamentos hasta la planificación, programación y ejecución.

Otro de los procesos de la fase operativa es la gestión de compras de requerimientos y servicios externos (Figura 3.5) en el cual el personal de mantenimiento se limita a solicitar sus requerimientos y en algunos casos puede llegar a seleccionarlos; pero muy rara vez especifica el proveedor.

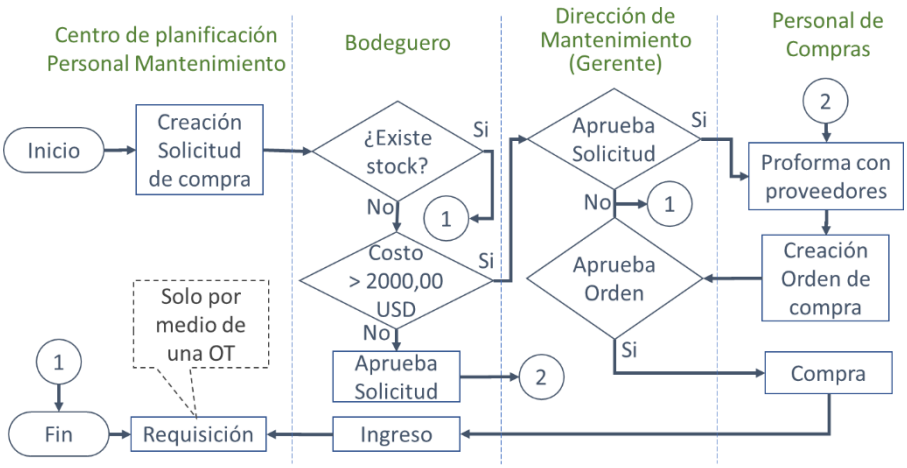

Figura 3.5. Gestión de compras y servicio externo

Fuente: Elaboración propia

Nota. La figura detalla el proceso de la gestión de compras de requerimientos y servicios externos.

Entre los documentos de la fase operativa se tiene:

- Registro del activo,

- Registro histórico de mantenimiento,
- Orden de trabajo,
- Lista de repuestos referenciales,
- Diagrama causa efecto (fallos),
- Registro histórico de parámetros,
- Gráfico mtbf y mttr,
- Hoja de planificación,
- Hoja de programación,
- Plan de producción,
- Hoja de datos de disponibilidad,
- Registros históricos (personal, materiales, costos),
- Organigrama,
- Evaluaciones de mantenimiento,
- Contratos de mantenimiento,
- Proveedores de mantenimiento,
- Trazabilidad.
- Procedimientos de actividades de mantenimiento, y
- Otros.

De entre los documentos de la fase operativa se detallan los más comunes.

3.3.1 Solicitud de trabajo

Una solicitud de trabajo (Figura 3.6) debe ser elaborada por la persona que necesitan de la intervención de mantenimiento, contiene como mínimo los siguientes campos:

- Número de solicitud (único),
- Departamento y nombre de la persona que solicita,
- Grupo de mantenimiento al que se le solicita,
- Fecha y hora de la solicitud,
- Observaciones y detalle de lo ocurrido,
- Título de la solicitud de trabajo,
- Lugar donde se va a realizar el trabajo,
- Equipo, y
- Firmas de aprobación.

SOLICITUD DE MANTENIMIENTO		**Nº 000001**	
Descripción breve: LIMPIEZA			
Ubicación técnica: EST13-OPE-EST97-PRO-GN92		**Equipo:** KA02	
Grupo de planificación: 100		**Puesto de trabajo responsable:** TM - 01	
Solicitante: PSAMANIEGO		**Sección Solicitante:** Línea de producción 01	
Fecha: 20 – 02 – 2026		**Hora:** 9:00 - 9:30	
Descripción: REALIZAR LA LIMPIEZA DEL GENERADOR			
Prioridad:	**Normal:**	**Importante:** ✓	**Urgente:**
Observaciones:			
Aprobación:	**Si** ✓	**No**	

Figura 3.6. Ejemplo de una solicitud de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Nota. Esta figura muestra un ejemplo de solicitud de trabajo utilizado en procesos de mantenimiento industrial que incluye los campos esenciales.

3.3.2 Orden de trabajo

Una orden de trabajo constituye un documento base para planificar, ejecutar y controlar las actividades de mantenimiento, como se observa en la Figura 3.7, debe incluir información completa que permita asegurar el seguimiento de cada intervención (Gramsch, 2008).

- Número de la orden de trabajo (único),
- Título de la orden de trabajo,
- Ubicación y código del elemento,
- Descripción del elemento,
- Fecha de emisión de la orden,
- Fecha de inicio de los trabajos,
- Fecha de fin de los trabajos,
- Fecha de cierre,
- Departamento y sección responsable,
- Tareas ejecutadas,
- Parámetros medidos,
- Materiales y repuestos (solicitudes de materiales, mejor si son costeadas),
- Personal asignado,
- Registro de horas-hombre día a día internas y externas, y
- Firmas de aprobación.

3.3.3 Solicitud de compra

La solicitud de compra (Figura 3.8) se caracteriza por detallar el elemento o servicio externo con la mayor exactitud posible, contiene los siguientes campos mínimos:

- Solicitante,
- Sección solicitante,
- Descripción,
- Cantidad,
- Unidades,
- Centro de costos,
- Equipo,
- Precio referencial,
- Bodega, y
- Descripción del producto.

ORDEN DE TRABAJO						**Nº 0000001**
Descripción breve: LIMPIEZA E INSPECCIÓN DEL GENERADOR						
Ubicación técnica: EST13-OPE-EST97-PRO-GN92			**Equipo:** KA02			
Grupo de planificación: 100			**Puesto de trabajo responsable:** TM - 01			
Solicitante: PSAMANIEGO			**Sección Solicitante:** Línea de producción 01			
Fecha: 20 – 02 – 2026			**Hora:** 9:30 - 11:00			
Descripción detallada: REALIZAR UNA LIMPIEZA Y A SU VEZ UNA INSPECCIÓN EN EL GENERADOR						
Prioridad:	Normal:	Importante: ✓	Urgente:			
Personal Requerido:						
Operación	Ejecutor	Código del trabajador	Descripción	Tiempo	Unidad	
10	TM–01–1	894	Limpiar todos los elementos	30	Minutos	
20	TM–01–3	546	Inspeccionar todos sus componentes	60	Minutos	
Materiales:						
Posición	Cantidad	Unidad	Descripción	Código	No. Parte	Fabricante
10	4	Oz	Limpiador de contactos eléctricos	269990016	296	CHESTERTON
20	½	kg.	Guaipe	696810085		
Costos: Costo de mano de obra: 7,75*2 = 15,50 USD Costo de materiales: 15,00 USD TOTAL: 30,50 USD						
Aprobación:	Si ✓			No		

Figura 3.7. Ejemplo de una orden de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Nota. Se presenta un modelo de orden de trabajo estructurado según buenas prácticas de mantenimiento.

SOLICITUD DE COMPRA		Nº 00000001
Solicitante: Pedro Samaniego	**Sección solicitante:** Línea de producción 01	
Descripción: Turbo del motor		
Cantidad: 01	**Unidades:** Kid	
Centro de costos: 13-97-5501	**Equipo:** CAT29	
Precio referencial: 10 USD	**Bodega:** B. R.	
Descripción del producto: Turbo del motor de combustión interna		
Autorización	**Si ✓**	**No**

Figura 3.8. Ejemplo de una solicitud de compra

Fuente: Elaboración propia

Nota. La figura detalla un ejemplo de solicitud de compra.

3.3.4 Orden de compra

La orden de compra (Figura 3.9), normalmente no es gestionada por el personal de mantenimiento, aunque forma parte de sus procesos. Contiene la misma información de solicitud de compra adicionada la siguiente información mínima:

- Precio proformado,
- Vendedor,
- Dirección del vendedor,
- Teléfono del vendedor, y
- E-mail de vendedor,

ORDEN DE COMPRA		Nº 00000001
Solicitante: Pedro Samaniego	**Sección solicitante:** Línea de producción 01	
Descripción: Turbo del motor		
Cantidad: 01	**Unidades:** Kid	
Centro de costos: 13-97-5501	**Bodega:** B.R.	
Precio proformado: 12 USD	**Equipo:** CAT29	
Descripción del producto: Turbo del motor de combustión interna		
Autorización	**Si ✓**	**No**
Vendedor: Distribuidoras CATERPILLAR	**Dirección del vendedor:** Calle principal y calle transversal	
Teléfono del vendedor: 0900000000	**e-mail del vendedor:** vendedor@email.com	

Figura 3.9. Ejemplo de una orden de compra

Fuente: Elaboración propia

Nota. La figura detalla un ejemplo de una orden de compras.

3.3.5 Solicitud de materiales

De acuerdo con Parra & Crespo (2019) la solicitud de materiales (Figura 3.10) es fundamental para garantizar el abastecimiento oportuno y el control de costos asociados a las actividades de mantenimiento, por lo que debe contener los siguientes elementos mínimos:

- Numero de la solicitud de materiales (único).
- Número de la solicitud de materiales.
- Máquina o equipo donde se utilizan los materiales.
- Lista de materiales con su respectivo código, cantidades y unidades.

- Firmas de aprobación.

SOLICITUD DE MATERIALES						**Nº 0000001**
Ubicación técnica: EST13-OPE-EST97-PRO-GN92			**Equipo:** KA02			
Grupo de planificación: 100			**Puesto de trabajo responsable:** TM - 01			
Solicitante: PSAMANIEGO			**Sección Solicitante:** Línea de producción 01			
Fecha: 20 – 02 – 2026			**Hora:** 9:30 - 11:00			
Materiales:						
Posición	Cantidad	Unidad	Descripción	Código	No. Parte	Fabricante
10	4	Oz	Limpiador de contactos eléctricos	269990016	296	CHESTERTON
20	½	kg.	Guaipe	696810085		
Aprobación:		Si ✓			No	

Figura 3.10. Ejemplo de una solicitud de materiales

Fuente: Elaboración propia

Nota. La figura detalla un ejemplo de solicitud de materiales empleada en actividades de mantenimiento.

3.3.6 Informe para el cierre de la OT

El informe final de ejecución de las tareas de una respectiva orden de trabajo (Figura 3.11), conocida también con el nombre de notificación, se la elabora previo a su cierre y contempla la siguiente información mínima:

- Número,
- Ejecutador,
- Fecha de inicio,
- Fecha final,

- Hora de inicio,
- Hora final,
- Duración (ttr),
- Tiempo de paro, (tiempo hasta la recuperación), y
- Comentario,

INFORME PARA EL CIERRE DE LA OT	**Nº00000001**
Ejecutor: TM–01–1	**Código:** 894
Fecha inicio: 26-04-2008	**Hora inicio:** 14:00:00
Fecha fin: 26-04-2008	**Hora fin:** 14:40:00
Duración: 40 MIN	**Tiempo de paro:** 60 MIN
Comentario: Trabajo realizado a satisfacción.	

Figura 3.11. Ejemplo de un informe para el cierre de la OT

Fuente: Elaboración propia

Nota. La figura detalla un ejemplo de solicitud de materiales empleada en actividades de mantenimiento.

CAPÍTULO IV

4 CODIFICACIÓN TÉCNICA

En el ámbito organizacional, uno de los primeros desafíos es crear un listado estructurado de equipos. Este listado, también conocido como taxonomía, se utiliza para diversos fines dentro de la gestión del mantenimiento. Sin embargo, no se trata simplemente de elaborar una lista de máquinas o equipos; es fundamental establecer criterios específicos, como la ubicación y el despiece (García, 2003).

En este punto, se recomienda diseñar categorías o niveles con una estructura jerárquica en forma de árbol, partiendo de lo macro a lo micro. Es importante basar este esquema en el objetivo para el cual se necesita el listado de equipos. Por ejemplo, puede ser para elaborar un plan de mantenimiento, organizar la información técnica de cada activo físico o calcular indicadores de mantenimiento (Montilla, 2019).

Al definir esta estructura jerárquica, conviene minimizar el número de niveles siempre que sea posible. Esto simplificará las gestiones futuras. Además, es crucial estandarizar el número de niveles en toda la planta que se va a inventariar.

En el contexto de plantas industriales, se encuentran diversos tipos de codificación utilizadas. Por ejemplo, los departamentos contables o administrativos de la empresa emplean su propia codificación (centros de costos, listados de activos físicos, etc.). Por otro lado, el área de almacén o bodega define la codificación de materiales y repuestos; sin embargo, ninguna de estas codificaciones permite gestionar de manera

precisa la planificación, programación y evaluación del departamento de mantenimiento (Gramsch, 2008).

Por lo tanto, resulta primordial establecer una taxonomía jerárquica específica para el mantenimiento. Además, es fundamental relacionar estas codificaciones. Por ejemplo, al asignar un código técnico a un compresor, se debe conocer el centro de costos al que pertenece y cuáles son los materiales y repuestos disponibles en la bodega para ese compresor, junto con sus respectivos códigos (Montilla, 2019).

4.1 Tipos de equipos industriales

Existe una amplia variedad de tipos de industrias, como las siderúrgicas, la petroquímica, de la construcción, la manufactura, la alimentaria, la textil, la de generación y transporte eléctrico, la farmacéutica, así como las empresas petroleras y de servicios relacionados. En cada una de estas áreas, se llevan a cabo procesos muy diversos con distintas máquinas y sistemas (Hastings, 2015). La Figura 4.1 presenta algunos ejemplos simplificados de la estructura jerárquica de plantas industriales.

Planta de cemento			
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**
Planta de cemento			
	Minas		
	Trituración		
	Prehomogenización	Almacenamiento de caliza	
	Molienda 1	**Transporte 1**	**Tranportador por banda**
	Homogenización	Transporte y docificación	**Motor eléctrico del sistema de transpotacióin**
	Horno de clinker	Almacenamiento y docificación de aditivos	**Reductor del sistema de transportación**
	Molienda 2	Transporte al molino	**Sistema de transmisión por cadena**
	Empaque	Molino	**Motor eléctrico de la tranmisión**

Transportes			
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**
Transportes			
	Vehículos livianos		
	Vehículos Pesados		
	Vehículos Eléctricos		**Habitáculo y bastidos**
	Maquinaria pesada		**Transmisión de potencia**
		Tractor de orugas	**Motor de combustión**
		Cargadora frontal	**Sistema eléctrico**
		Motoniveladora	**Sistema Hidraúlico**
		Excavadora	**Tren de rodaje**
		Retroexcavadora	**Herramientas de trabajo**

Subtransmisión eléctrica			
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**
Subtransmisión eléctrica			
	Subestación 1		
	Subestación 2		
	Subestación 3	Bahía 01	**Seccionador tripolar de barra**
	Subestación 4	**Sistema de transformación**	**Disyuntor tripolar en alta**
		Alimentador 01	**Transformador**
		Barra de 69 KVA	**Disyuntor en baja**
		Barra de 13.8 KVA	**Seccionador unipolar 01**
			Seccionador unipolar 02
			Seccionador unipolar 03

Barcos			
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**
Transportes	Máquinas	**Sistema de propulsión**	**Hélice**
	Cubierta	Sistema de gobierno	**Motor de combustión**
	Hotel	Sistema de combustible	**Reductor**
		Purificadoras de combustible	**Línes de ejes**
		Compresor de aire de partida	**Turbo**
		Purificadoras de aceite	**Instrumentos motor**
		Sistemas de ventilación y extracción	
		Sistema ontra incendios	
		Bomba contra incendios	
		Bomba de lastre	

Textil			
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**
Planta		**Telar 1**	**Motor eléctrico principal**
	Tejeduría plana	Telar 2	**Motor eléctrico buscapasadas**
	Tejeduría circular	Telar 3	**Motor extracror de peluza**
	Hilatura	Telar 4	**Tablero eléctrico**
	Máquinas		**Transmisión por piñones iz**
			Transmisión por piñones de
			Freno embrague

Figura 4.1. Ejemplos de tipos de industria

Fuente: Elaboración propia

Nota. La figura presenta la descomposición jerárquica de las industrias de cemento, subtransmisión eléctrica, transporte terrestre, barcos y textil, donde se muestra los distintos niveles de sistema, proceso, subproceso y equipo, utilizada para la identificación de activos físicos y el análisis de mantenimiento, fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

La fase preliminar a cualquier proceso de codificación técnica consiste en la ejecución de un levantamiento exhaustivo del inventario los activos físicos existentes, ya sean estos máquinas, equipos, inmuebles o vehículos que integran el sistema productivo de la organización y que serán cubiertos por el programa de mantenimiento (Pérez, 2021).

La base de datos central donde se consolidan las especificaciones técnicas, operativas y administrativas de cada activo físico se conoce como Archivo Maestro de Máquinas (AMM), este documento constituye el núcleo fundamental para la gestión de información y la posterior digitalización del mantenimiento (Montilla, 2019). El AMM puede estar conformado por los siguientes tipos de equipos:

- Eléctricos,
- Mecánicos,
- Electrónicos,
- Instrumentación,
- Automotrices,
- Entre otros.

Un ejemplo se muestra en la Tabla 4.1, donde se puede ver un listado de equipos con su tipología y cada uno con un código asignado.

Tabla 4.1. Ejemplo de listado de equipos

Cód	Equipo	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
DI	Disyuntor	1 (Aceite)	2 (Aire)	3 (Vacio)	4 (SF6)	
GE	Generador eléctrico	1 (Corriente alterna)	2 (Corriente continua)			
ME	Motor eléctrico	1 (Trifásico CA)	2 (Monofásico CA)	3 (Monofásico)	4 (Universal)	5 (Sincrónico)
PA	Pararrayos	1 (Tipo activo)	2 (Tipo pasivo)			
SE	Seccionador	1 (Monopolar)	2 (Tripolar)	3 (Tripolar con accionamiento)	4 (Seccionador fusible)	5 (Seccionador de puesta a tierra)
TR	Transformador	1 (Trifásico en aceite)	2 (Trifásico seco)	3 (Monofásico seco)	5 (Monofásico en aceite)	5 (Transformador)
BO	Bomba	1 (Centrifuga)	2 (Alternativa de pistón)	3 (de tornillos)	4 (de lóbulos)	5 (de engranajes)
CA	Caldero	1 (pirotubular)	2 (acuatubular)			

Cód	Equipo	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
CO	Compresor	1 (de pistón)	2 (de tornillo)	3 (booster)	4 (de paletas)	5 (lóbulos)
IC	Intercambiador de calor	1 (Rotativo)	2 (Tubos u carcaza)			
RE	Reductor	1 (de engranaje)	2 (Planetario)			
TM	Transmisión	1 (por banda)	2 (por cadena)	3 (por cable)	4 (por embrague)	5 (por tornillos)
TP	Transportador	1 (por banda)	2 (por rodillo)	3 (de cangilones)		

Fuente: García (2003), Montilla (2019) y Silva & Orrego (2009)

Nota. Esta tabla permite identificar rápidamente el equipo y su tipología específica en los sistemas de información de mantenimiento.

4.2 Centro de costos

Es una unidad de negocio dentro de una empresa en la que se registran los gastos operativos del proceso (Gramsch, 2008). Estos gastos pueden incluir salarios, insumos utilizados, consumo de energía, reposición de artículos y mantenimiento preventivo y correctivo, entre otros (Montilla, 2019; Parra & Crespo, 2019).

La gestión por Centros de Costos (CC) permite identificar el origen de los gastos, facilitando la búsqueda de eficiencia mediante la

optimización de adquisiciones. Este modelo resulta clave en procesos de reestructuración para reducir desembolsos no críticos y racionalizar el flujo financiero. La trazabilidad de los egresos fundamenta la toma de decisiones estratégicas para la sostenibilidad del negocio (Crespo et al., 2004).

Los CC son definidos por las áreas contable o administrativa de las empresas (Gramsch, 2008; Mobley, 2004) y estos pueden ser declarados por área, por la línea de producción o incluso a nivel de máquina, esto depende del grado de detalle que se requiera (García, 2003), estos pueden ser clasificados como administrativos, de servicio, o de centros productivos.

Los gastos más importantes incorporados a un CC son:

- Sueldos,
- Depreciación,
- Energía (energía eléctrica, combustibles),
- Insumos (materiales y repuestos),
- Mantenimiento (mano de obra, materiales y repuestos), y
- Gastos generales (agua, teléfono, internet).

Las Figuras 4.2, 4.3 y 4.4 ilustran varias posibilidades de asignación de CC.

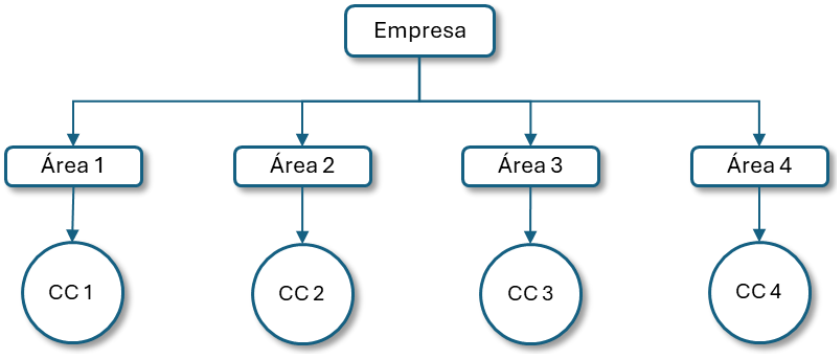

Figura 9. Esquema de centro de costos asignado por área

Fuente: Montilla (2019)

Nota. Asignación de un CC individual a cada área productiva o de servicio. Esta estructura facilita la imputación directa de los gastos de mantenimiento a cada unidad.

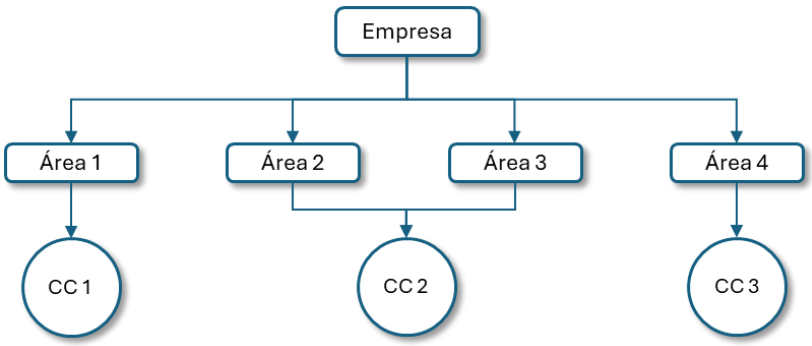

Figura 10. Esquema de centro de costos por agrupamiento de áreas

Fuente: Gramsch (2008)

Nota. Esquema de asignación de costos de mantenimiento donde varias áreas operativas se consolidan en un único CC, reduciendo la complejidad contable.

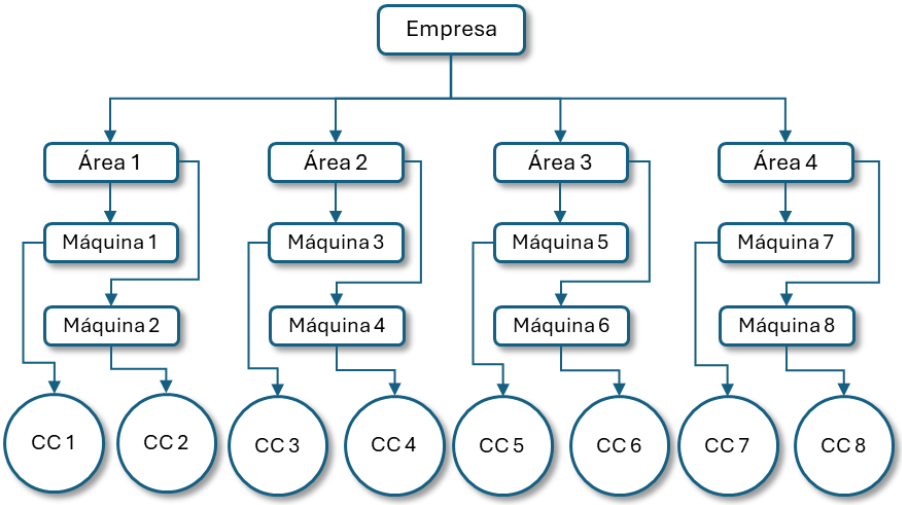

Figura 11. Esquema de centro de costos asignado a nivel de máquina

Fuente: García (2003) y Mobley (2004)

Nota. Máximo nivel de detalle en la asignación de costos, donde cada máquina individual se asocia a un CC único. este método es esencial para calcular el costo del ciclo de vida del activo físico y para análisis detallados de fallas y rentabilidad.

4.3 Estructura de codificación de equipos

Un inventario de equipos veraz y actualizado constituye un pilar fundamental para garantizar la efectividad y eficiencia operativa en la gestión de mantenimiento. La carencia de registros precisos compromete la planificación estratégica y la asignación óptima de recursos técnicos y financieros dentro de la organización (Mobley et al., 2008).

Este registro debe ser el punto de partida para los procesos de identificación, codificación y trazabilidad de los costos operativos y el historial de intervenciones técnicas. Se observa que la consolidación de estos datos facilita el análisis del ciclo de vida de los activos y la evaluación objetiva del desempeño mediante indicadores (Montilla, 2019).

La norma ISO 14224 (2016) suministra una taxonomía rigurosa para la codificación y clasificación de activos físicos (Silva & Orrego, 2009). Aunque fue desarrollada inicialmente para ese sector, su estructura jerárquica como se muestra en la Figura 4.5 es ampliamente adaptable a cualquier entorno industrial.

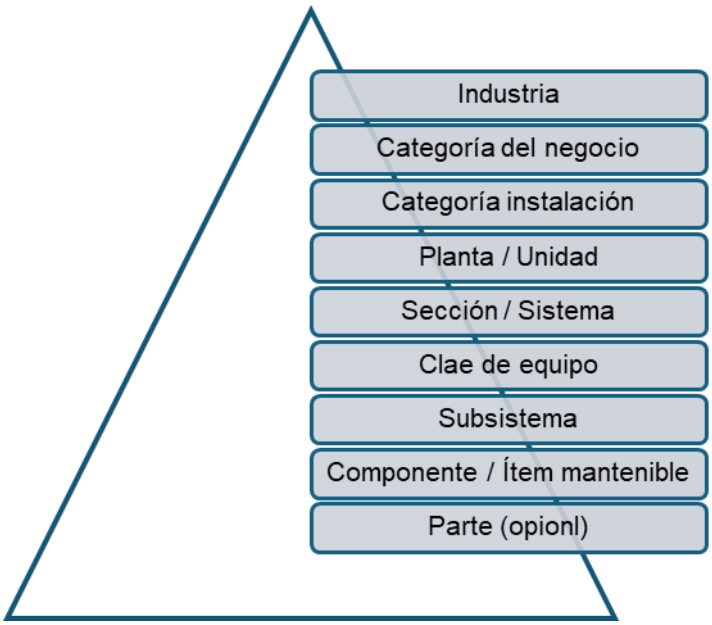

Figura 12. Clasificación de la taxonomía de activos físicos

Fuente: ISO 14224 (2016)

Nota. Se representa la organización jerárquica sugerida por estándares internacionales para asegurar la trazabilidad y el análisis de fallas en activos físicos.

La norma ISO 14224 (2016) establece nueve niveles jerárquicos tratando de contemplar la mayor complejidad estructural de una organización; sin embargo, los cuatro primeros se refieren a la información de la planta por lo que se podría utilizar en la mayoría de los casos únicamente des el nivel cuatro (Planta) en adelante para los niveles jerárquicos (Silva & Orrego, 2009) una simplificación del esquema se presenta en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Clasificación de la taxonomía

Nivel	Nombre del nivel
1	Planta / Unidad
2	Sección / Área / Línea de producción
3	Sistema / Máquina
4	Subsistema / equipo
5	Componente
6	Parte

Fuente: García (2003) y Mobley (2004)

Nota. La jerarquización de los activos físicos es esencial para la organización y la gestión eficaz de la información de mantenimiento, la

asignación de costos y la planificación de las tareas. El nivel de detalle seleccionado debe ser coherente con los objetivos de control de la gestión.

Normalmente una planta se divide en áreas, cada área está formada por varios sistemas o directamente por máquinas. Dependiendo de la complejidad de las máquinas, esta puede dividirse en subsistemas o equipos. Los equipos se pueden dividir en componentes que son los elementos para mantener. De manera opcional, cada componente podría estar conformado por varias partes. Una aplicación de lo dicho se presenta en las Tablas 4.3.

Tabla 4.3. Ejemplo de taxonomía

Taxonomía	**Nivel 1**	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**
Planta:	Empresa constructora			
Área/Sección:		Maquinaria pesada		
Máquina:			Cargadora frontal	
Equipos:				Motor de combustión
				Trasmisión de potencia
				Dirección

	Frenos
	Habitáculo y bastidor
	Sistema eléctrico
	Sistema hidráulico
	Herramienta de trabajo

Fuente: García (2003) y Mobley (2004)

Nota. La jerarquización establece los límites para la organización del mantenimiento, donde el Nivel tres (Máquina) es la base para la imputación de costos detallados y la planificación del trabajo. Los Niveles desde el cuatro en adelante, representan los sistemas funcionales y componentes que son objeto del mantenimiento preventivo y correctivo.

4.4 Codificación de ubicaciones técnicas

El siguiente paso es la codificación, misma que se caracteriza por ser un código único e irrepetible, el cual puede ser significativo o no significativo. Según García (2003) en su libro Organización de la Gestión del Mantenimiento, afirma que el código no significativo emplea estructuras numéricas secuenciales que carecen de información descriptiva intrínseca sobre el elemento. En contraste, el código

significativo utiliza combinaciones alfanuméricas donde los caracteres aportan datos adicionales sobre la naturaleza del equipo.

La codificación de los activos físicos debe trascender la simple identificación secuencial para constituirse como una fuente de información técnica y geográfica fundamental. El código debe permitir la localización precisa y la caracterización funcional del equipo dentro de la infraestructura productiva (Montilla, 2019).

La integración de la ubicación técnica en los niveles primarios de la jerarquía organizacional, asignando dígitos específicos para la planta y el área funcional. La longitud de la cadena alfanumérica se incrementa proporcionalmente a la complejidad y dispersión geográfica de las unidades industriales. Se debe asegurar una estructura escalable que asegure la trazabilidad de los elementos incluso en entornos operativos multiplanta (Silva & Orrego, 2009). Se indica un ejemplo en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Ejemplos de codificación para el nivel 1 de la ubicación técnica

Código	Descripción	Observaciones
PC	Planta de cemento	Código significativo
P1	Planta de aluminio	Código no significativo, es un secuencial
P2	Planta de Aluminio 2	Código no significativo, es un secuencial
X	Constructora X	Código no significativo, simple

1	Fábrica de calzado	Código no significativo, simple

Fuente: Mobley (2004)

Nota. La codificación del nivel 1 o de planta es el punto de partida de la jerarquía de activos físicos.

Para el segundo nivel la estructura puede variar también entre uno y dos dígitos, como se estructura a modo de ejemplo en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Ejemplos de codificación para áreas

Código	Descripción	Observaciones
SG	Servicios generales	Código significativo
PI	Pintura	Código significativo
TP	Transporte	Código significativo
A	Trituración	Código no significativo, simple
1	Subestación	Código no significativo, secuencial

Fuente: Mobley (2004)

Nota. La codificación del nivel 2 o de área, normalmente es una subdivisión de la planta.

4.5 Codificación de maquinas

Para facilitar el inventario de equipos es muy útil desarrollar tablas de tipos de máquinas con sus respectivos códigos estandarizados. La codificación puede ser de dos o tres dígitos alfabéticos, se puede añadir un secuencial en el caso de existir más de una máquina de este tipo, tal como se puede observar en el ejemplo de la Tabla 4.6, donde en los dos últimos (TO01 y TO02), se le ha añadido al código alfanumérico, dos caracteres secuenciales para diferenciar estos activos físicos del mismo tipo.

Tabla 4.6. Listado de tipos de máquinas

Código	Tipos de máquinas
CA	Compresor de aire
GE	Grupo electrógeno
SB	Sistema de bombeo
EX	Excavadora
TR	Trituradora
CT	Cámara de transformación
TO01	Tractor de orugas 1
TO02	Tractor de orugas 2

Fuente: García (2003)

Nota. La codificación en el Nivel 3 identifica al sistema o máquina que es la unidad fundamental para la gestión del mantenimiento y la imputación de los costos.

4.6 Codificación técnica de equipos

Para la codificación del cuarto nivel jerárquico a igual que el nivel anterior se hace necesario estructurar listados de equipos. En la Figura 4.6 un ejemplo de codificación estructurado de equipos.

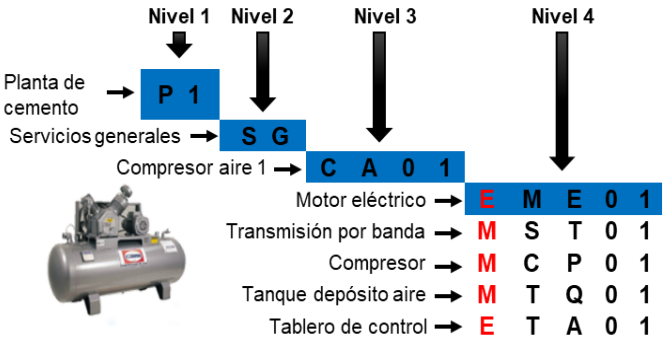

Figura 13. Ejemplo de codificación estructurado hasta el nivel 4

Fuente: García (2003)

Nota. La codificación en el Nivel 4 identifica al subsistema o equipo, que en la mayoría de los casos es conveniente llegar hasta aquí.

Del ejemplo de la Figura 4.6 se puede definir que la codificación de los dos primeros niveles jerárquicos proporciona información de la ubicación técnica y la estructura del código de los niveles tres y cuatro indica el tipo de equipo (García, 2003), donde:

- P1 Planta de cemento

- SG Área de servicios generales
- CA01 Compresor de aire 01
- EME01 La primera letra indica que es un equipo eléctrico y el resto del código corresponde al tipo de equipo que en este caso es el motor eléctrico 01.

4.6.1 Codificación con ubicación técnica separada

En este método la codificación se divide en dos partes. Por un lado, se estructura el código de la ubicación técnica y por otro lado el código del sistema o máquina en adelante.

En el ejemplo de la Figura 4.6, el código de la ubicación técnica correspondiente al área de servicios generales es el siguiente:

- P1 Planta de cemento
- P1-SG Área de servicios generales de la planta de cemento

En tanto que el código relacionado con el compresor de aire queda definido de la siguiente manera:

- CA01 Compresor de aire 01
- EME01-CA01 Motor eléctrico 01 del compresor de aire 01.
- MST01-CA01 Transmisión por banda 01 del compresor de aire 01.
- MCP01-CA01 Compresor 01 del compresor de aire 01.
- MTQ01-CA01 Tanque depósito de aire 01 del compresor de aire 01.
- ETA01-CA01 Tablero de control 01 del compresor de aire 01.

Este método consigue obtener códigos cortos fáciles de aprenderse identificando rápidamente con cuatro caracteres al sistema o máquina, quien lleva esta identificación en el lugar más visible, de preferencia mediante una placa de acero inoxidable, como se indica en la Figura 4.7.

Figura 14. Identificación del compresor de aire 01

Fuente: García (2003)

Nota. Identificación del código del compresor de aire 01 mediante una placa de acero inoxidable en un lugar visible

Es de mucha importancia resaltar que como es obligatorio la irrepetibilidad de los códigos, únicamente deberá existir un compresor de aire 01 en toda la planta.

4.6.2 Codificación con ubicación técnica integrada

En este método se junta el código de la ubicación técnica con el relacionado con el sistema o máquina, por lo tanto, de acuerdo con la

Figura 4.6 el código completo correspondiente al motor eléctrico 01 del compresor de aire 01 del área de servicios generales de la planta de cemento es P1-SG-CAP1-EME01. Esta metodología puede ser aplicada a todo tipo de industria o infraestructura y contiene en sí mismo la ubicación y el tipo de equipos (García, 2003; Montilla, 2019).

Para el mismo ejemplo, el código no significativo podría estar representado de la siguiente manera:

- 01 planta de Cemento
- 03 código del área de servicios generales
- 005 máquina número 5
- 01 secuencial del equipo

Unificando sus partes se llega al siguiente código:

- 01-03-005-01.

En este caso es imposible determinar la ubicación y el tipo de equipo directamente mediante el código, aunque resulta ser más corto, no proporciona ninguna información (García, 2003; Gross, 2002).

4.7 Movimiento de equipos

Hay algo que se debe de tener en cuenta cuando se tiene una empresa codificada y es que sucede con los códigos cuando los equipos se mueven o cuando se da de baja. Cuando un equipo es retirado de una ubicación este pierde su código y este será asignado al nuevo equipo que lo reemplaza (Gross, 2002). El equipo que sale queda sin código hasta

que se le asigne otra ubicación y su identificación será su marca y número de serie.

4.8 Codificación del personal

La codificación también puede aplicarse al personal de mantenimiento. Por ejemplo, asignar códigos específicos a los técnicos o ingenieros que realizan tareas de mantenimiento (García, 2003; Montilla, 2019). Además, es muy útil generar una ficha para cada técnico donde se registren sus datos personales, dirección, teléfonos, además debe contar con información de su formación técnica. Cabe indicar que el código seleccionado debe ser único y este podría ser utilizado en las programaciones de mantenimiento y ordenes de trabajo y en otros procesos donde ayuda a identificar con precisión la ubicación del personal durante las intervenciones o paradas de planta (García, 2003; Mora, 2012).

CAPÍTULO V

5 PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

La planificación del mantenimiento preventivo es una parte fundamental de la gestión eficiente de activos físicos y equipos en una organización. Este enfoque se centra en la realización de actividades programadas y periódicas de mantenimiento en equipos, maquinaria, instalaciones o sistemas con el objetivo de minimizar el tiempo de inactividad no planificado y prolongar la vida útil de los activos físicos (Dhillon, 2002; Pérez, 2021; Silva & Orrego, 2009). A continuación, se explorará en detalle la importancia de la planificación del mantenimiento preventivo y los pasos clave para su implementación efectiva.

Importancia de la planificación del mantenimiento preventivo:

- **Reducción de costos:** El mantenimiento preventivo permite identificar y abordar problemas antes de que se conviertan en costosas averías. Esto conduce a un menor gasto en reparaciones y reemplazos, así como a la disminución de los costos de tiempo de inactividad no planificado (Mobley, 2004).
- **Aumento de la disponibilidad:** Al programar tareas de mantenimiento en momentos convenientes, se evita que los activos físicos estén fuera de servicio en momentos críticos de producción. Esto mejora la disponibilidad de los activos físicos y garantiza una producción más constante (Mobley, 2004).
- **Mayor seguridad:** El mantenimiento preventivo reduce el riesgo de accidentes en el lugar de trabajo al garantizar que los equipos

estén en buenas condiciones de funcionamiento. Además, las inspecciones regulares ayudan a identificar problemas de seguridad potenciales (Dhillon, 2002; García, 2003).

- **Prolongación de la vida útil:** Al cuidar y mantener los activos físicos de manera regular, se puede extender su vida útil, lo que significa que la organización obtendrá un mayor retorno de la inversión en sus activos físicos (Dhillon, 2002; Moubray, 2004).
- **Mejora de la calidad:** El mantenimiento preventivo puede ayudar a mantener los equipos en condiciones óptimas, lo que puede conducir a una mayor calidad en la producción y reducir la variabilidad en los procesos (Mobley et al., 2008; Mora, 2012).
- **Cumplimiento normativo:** En muchas industrias, existen regulaciones estrictas en cuanto al mantenimiento de equipos y sistemas. La planificación del mantenimiento preventivo ayuda a garantizar el cumplimiento de estas regulaciones (Crespo et al., 2004).

Pasos clave para la implementación de la planificación del mantenimiento preventivo:

1. El primer paso es identificar y enumerar todos los activos físicos que requieren mantenimiento preventivo. Esto incluye maquinaria, equipos, sistemas eléctricos, sistemas de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), vehículos, etc (Montilla, 2019).
2. Determine con qué frecuencia deben realizarse las tareas de mantenimiento preventivo en cada activo físico (García, 2003).

Esto se basa en las recomendaciones del fabricante, la experiencia previa y la criticidad del activo físico.

3. Cree un calendario de mantenimiento que especifique cuándo se llevarán a cabo las tareas preventivas. Asegúrese de coordinar estas actividades con las operaciones de la organización para minimizar el impacto en la producción.
4. Asigne los recursos necesarios, incluyendo personal, herramientas, piezas de repuesto y presupuesto, para llevar a cabo el mantenimiento preventivo de manera efectiva.
5. Mantenga registros detallados de todas las actividades de mantenimiento preventivo, incluyendo fechas, resultados, piezas reemplazadas y cualquier problema identificado. Esta documentación es valiosa para el seguimiento y la toma de decisiones futuras.
6. Revise regularmente el programa de mantenimiento preventivo para identificar áreas de mejora. Esto puede incluir ajustar las frecuencias de mantenimiento, optimizar los procedimientos y utilizar datos recopilados para tomar decisiones informadas.
7. Asegúrese de que el personal encargado del mantenimiento esté capacitado adecuadamente y tenga acceso a la información y herramientas necesarias para llevar a cabo las tareas de manera efectiva y segura.

5.1 Tareas de mantenimiento

Las tareas de mantenimiento son actividades esenciales que se llevan a cabo en equipos, sistemas, edificaciones y otros activos físicos para garantizar que funcionen de manera óptima, sean seguros y tengan una vida útil prolongada. La elección de las tareas adecuadas depende de

diversos factores, incluyendo el tipo de activo físico, su criticidad y el enfoque de mantenimiento adoptado por la organización. La combinación de mantenimiento preventivo y correctivo permite equilibrar la eficiencia operativa con la disponibilidad de los activos físicos, lo que contribuye al éxito y la sostenibilidad de una organización (Mobley, 2004).

Las actividades de mantenimiento se pueden clasificar en varias categorías, cada una de las cuales aborda diferentes aspectos y necesidades de los activos físicos. A continuación, se explorará en detalle las principales tareas de mantenimiento y su importancia en diversos contextos:

5.1.1 Mantenimiento de rutina

Las actividades de mantenimiento de rutina forman parte esencial de preventivo que deben realizar a priori y de forma regular ya que la mayoría son sencillas y relativamente económicas, sin embargo, sus efectos son de enorme relevancia, ya que ayudan a prolongar la vida útil de los activos físicos, reducir el tiempo de inactividad no planificado y prevenir costosas reparaciones. pueden estar constituidas por las siguientes (Bányai, 2024):

- Inspecciones regulares mediante la examinación visual de los elementos en busca de desgaste, corrosión, fugas, grietas, desnivelación, desalineación u otros signos de deterioro.
- Limpiezas para mantener los equipos libres de impurezas con el propósito de evitar taponamientos y trabamientos, garantizar su funcionamiento eficiente (Dhillon, 2002).

- Lubricación de partes móviles con el fin de reducir la fricción y el desgaste, evitando fallas derivadas (Mobley et al., 2008).
- Calibración de instrumentos para garantizar que los equipos de medición operen dentro de parámetros aceptables, evitando errores que puedan comprometer la operación industrial (Mobley, 2004).
- Regulación de elementos que se desgastan o aflojan por el uso, como el afilado de cuchillas, posicionamiento de topes, y el tensionado de bandas y cadenas de transmisión.
- Reposición de niveles de líquidos y lubricantes.
- Ajustes de pernos, tuercas y otros elementos de sujeción que se aflojan por el uso, manipulación y vibración de la máquina.

5.1.2 Mantenimiento predeterminado

El mantenimiento predeterminado implica realizar tareas de manera programada y periódica, al igual que las de rutina, pero con la diferencia de que estas suelen requerir de equipamiento más costoso y de habilidades técnicas más exigentes, por lo que su aplicación optima se debe realizar bajo un análisis costo-beneficio. Las actividades de mantenimiento predeterminadas están conformadas por las siguientes (Crespo et al., 2004):

- Restauración de la condición de elementos que no requieren de su remplazo, como la recuperación de superficies con material de aporte por soldadura o metalización, alineación, balanceo y nivelación.

- Reemplazo de elementos que se desgastan con el tiempo, como filtros, bandas de transmisión, rodamientos, retenedores, cadenas, entre otros.

5.1.3 Mantenimiento basado en la condición

Las tareas de mantenimiento basadas en la condición consisten en la restauración o reemplazo de un elemento en el caso en que se ha detectado su degradación hasta un umbral crítico (diagnóstico) mediante técnicas de inspección, monitoreo y análisis de datos con los que, en la actualidad, y con o sin soporte de la IA, se pueden realizar el pronóstico de la Vida Útil Remanente (RUL, del inglés *Remaining Useful Life*) (Montilla, 2019; Mora-Gutiérrez, 2022):

Se enumeran las principales técnicas de diagnóstico tareas asociadas a este modelo de gestión:

- Análisis de vibraciones: Se emplea para detectar desalineaciones, desequilibrios o fallas en rodamientos y elementos rotativos.
- Tribología y análisis de aceites: Se realiza para identificar la presencia de partículas de desgaste, contaminantes o degradación de las propiedades lubricantes.
- Termografía infrarroja: Se utiliza para localizar puntos calientes en sistemas eléctricos o mecánicos que indiquen fricción excesiva o sobrecarga.
- Inspección por ultrasonido: Se aplica para la detección temprana de fugas de fluidos, arcos eléctricos o fallas en válvulas y trampas de vapor.

- Monitoreo de parámetros eléctricos: Se analizan variables como la impedancia, corriente y voltaje para evaluar la integridad de motores y sistemas de potencia.
- Mantenimiento predictivo: Análisis de datos con herramientas estadísticas o del machine learning para pronosticar la Vida Útil Remanente de un elemento.

5.1.4 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se realiza en respuesta a una falla o avería inesperada, por lo que normalmente resulta costoso y puede causar consecuencias significativas a la producción, salud, seguridad o al ambiente; sin embargo, ante las consecuencias operacionales se lo puede realizar cuando los problemas no se pueden prever o cuando el costo de la reparación incluido el lucro cesante es menor que el costo de su prevención. Incluye tareas como (Bányai, 2024; Lin et al., 2025):

- Reparación de componentes dañados o defectuosos.
- Reemplazo de componentes o equipos defectuosos que ya no pueden ser reparados.
- Restauración de sistemas para ponerlos en funcionamiento después de una avería.

5.1.5 Mantenimiento de edificaciones

El mantenimiento de edificaciones es esencial para garantizar la seguridad de los ocupantes y la durabilidad de la estructura. En el caso de edificios y estructuras, las tareas de mantenimiento incluyen:

- Mantenimiento de la fachada que incluye limpieza, reparación y pintura de la estructura exterior.
- Inspección y reparación de instalaciones eléctricas y sistemas de agua y alcantarillado.
- Reparación de techos y aislamiento para evitar filtraciones y problemas relacionados con la climatización.
- Mantenimiento, limpieza y revisión periódica de sistemas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC, del inglés *Heating, Ventilation, and Air Conditioning*)

5.2 Períodos, rutinas y recursos

Los conceptos de ***períodos***, ***rutinas*** y ***recursos*** son fundamentales en la planificación y ejecución de tareas en una variedad de contextos, desde la gestión del tiempo hasta la administración de proyectos y la optimización de operaciones. A continuación, se detallará estos conceptos de manera amplia y detallada (García, 2003).

5.2.1 Períodos

Los períodos se refieren a intervalos de tiempo específicos o segmentos temporales que se utilizan para dividir, organizar o planificar actividades. Estos períodos pueden variar en duración, desde segundos hasta años, y son esenciales para establecer marcos temporales para la realización de tareas (Montilla, 2019). Algunos ejemplos de períodos incluyen:

a. Segundos, minutos y horas: Estos son períodos fundamentales en la gestión del tiempo cotidiana. Se utilizan para organizar tareas diarias, como reuniones, llamadas telefónicas y citas.
b. Días, semanas y meses: Estos períodos son útiles para planificar actividades a corto y medio plazo, como proyectos semanales, entregas mensuales o informes trimestrales.
c. Trimestres y años fiscales: Empresas y organizaciones utilizan estos períodos para planificar presupuestos, informes financieros y objetivos a largo plazo.
d. Ciclos de vida de productos: En la industria, los periodos pueden estar relacionados con la planificación de productos, desde el desarrollo hasta la retirada del mercado.
e. Épocas o estaciones: En agricultura o turismo, los períodos pueden estar relacionados con las estaciones del año y las actividades asociadas.

La elección adecuada de los períodos depende de la naturaleza de la actividad o proyecto en cuestión. Estos períodos proporcionan un marco temporal para establecer plazos, programar tareas y evaluar el progreso.

5.2.2 Rutinas

Las rutinas son secuencias preestablecidas de acciones o actividades que se repiten regularmente. Estas actividades a menudo forman parte de la vida cotidiana de las personas o de las operaciones de una organización. Las rutinas pueden ser diarias, semanales, mensuales o incluso anuales, y suelen estar diseñadas para lograr objetivos específicos. Algunos ejemplos de rutinas incluyen:

- Rutina matutina: Una serie de actividades que una persona realiza todas las mañanas, como despertar, hacer ejercicio, ducharse y desayunar.
- Rutina de trabajo: Un conjunto de tareas y actividades que una persona realiza durante su jornada laboral, como revisar correos electrónicos, asistir a reuniones y completar tareas asignadas.
- Rutina de limpieza: Un plan regular para limpiar y mantener la limpieza de un hogar, oficina o espacio comercial.
- Rutina de mantenimiento preventivo: Un programa establecido para llevar a cabo inspecciones y tareas de mantenimiento en equipos o activos físicos de una empresa.
- Rutina de gestión de proyectos: Un conjunto de actividades planificadas que se repiten en cada fase de un proyecto, como la planificación, ejecución y control (Mobley, 2004).

Las rutinas proporcionan estructura y consistencia en la vida personal y profesional, ayudando a las personas y organizaciones a mantenerse organizadas y alcanzar sus objetivos de manera eficiente.

5.2.3 Recursos

Los recursos son elementos, activos físicos o herramientas que se utilizan para llevar a cabo tareas, proyectos u operaciones. Pueden ser tangibles o intangibles y varían según el contexto. Los recursos son esenciales para lograr resultados exitosos y pueden incluir:

- Recursos humanos: El personal, los empleados y los colaboradores que contribuyen con sus habilidades y

conocimientos para llevar a cabo tareas y proyectos (Meruane, 2011).

- Recursos financieros: El dinero y los activos financieros necesarios para financiar actividades y proyectos, como presupuestos, inversiones y capital.
- Recursos tecnológicos: Equipos, software, hardware y sistemas utilizados en operaciones y proyectos, desde computadoras hasta software especializado.
- Recursos materiales: Materiales, suministros y componentes necesarios para la producción o ejecución de tareas, como materias primas en la industria manufacturera.
- Recursos de tiempo: El tiempo disponible para llevar a cabo actividades y proyectos, que es un recurso limitado y valioso.
- Recursos naturales: Los recursos provenientes de la naturaleza, como tierra, agua, energía y minerales, utilizados en diversas industrias.

La gestión eficiente de los recursos es esencial para optimizar el rendimiento y el éxito en cualquier emprendimiento. Se requiere una asignación adecuada de recursos para alcanzar objetivos, cumplir con plazos y garantizar la calidad de las tareas y proyectos.

5.3 Cálculo de las unidades operativas de producción

El cálculo de las Unidades Operativas de Producción (UOP) es una métrica utilizada en diversos sectores y organizaciones para evaluar la eficiencia y productividad de una operación o proceso específico. Esta métrica se utiliza para medir cuántos productos o servicios se producen

en un período de tiempo determinado y se considera un indicador clave para la gestión de operaciones y la toma de decisiones.

5.3.1 Definición de las unidades operativas de producción

Las UOP representan una unidad de medida que refleja la producción o la capacidad de realizar una actividad en un período de tiempo dado. Pueden variar en su definición según el contexto y el sector. Algunos ejemplos de UOP incluyen:

a. Manufactura: En una línea de ensamblaje de automóviles, una UOP podría ser un automóvil ensamblado por hora.
b. Industria alimentaria: En una fábrica de galletas, una UOP podría ser la cantidad de galletas empacadas por minuto.
c. Servicios de atención al cliente: En un centro de llamadas, una UOP podría ser la cantidad de llamadas atendidas por hora.
d. Construcción: En un proyecto de construcción, una UOP podría ser la cantidad de metros cuadrados de paredes pintadas por día.
e. Agricultura: En una granja de cultivo, una UOP podría ser la cantidad de kilogramos de maíz cosechados por hectárea por temporada.

5.3.2 Cálculo de las unidades operativas de producción

El cálculo de UOP se basa en la relación entre la cantidad de productos, servicios o actividades realizadas y el tiempo empleado en realizarlas (Montilla, 2019). La ecuación general para calcular las UOP es la siguiente:

$$UOP = \frac{Cantidad\ de\ producción\ o\ actividad}{Tiempo\ empleado\ para\ producir\ o\ realizar\ la\ actividad} \quad (1)$$

Para calcular las UOP de manera precisa, es importante definir claramente la unidad de producción y el período de tiempo en el que se está midiendo (Dhillon, 2002). Por ejemplo, si se trata de una línea de producción de automóviles, las UOP se expresarían como número de automóviles por hora.

5.3.3 Importancia de las unidades operativas de producción

El cálculo de las UOP es esencial por varias razones:

- Permiten a las organizaciones evaluar qué tan eficiente es una operación industrial o proceso productivo en términos de unidades elaboradas y utilización de recursos (Campbell et al., 2011).
- Se utilizan para establecer metas de producción realistas y medibles, lo que ayuda a los equipos a trabajar hacia objetivos concretos (Parra & Crespo, 2019).
- Las organizaciones pueden identificar áreas donde se pueden realizar mejoras continuas para aumentar la producción y la eficiencia (Mora, 2012).
- Ayudan a determinar cuántos recursos, como mano de obra y maquinaria, se necesitan para alcanzar los niveles de producción deseados (Mora, 2012).
- Proporcionan datos objetivos que respaldan la toma de decisiones relacionadas con la producción, la inversión en tecnología y la gestión de operaciones (Campbell et al., 2011).

- Las organizaciones pueden comparar sus UOP con las de la competencia o con estándares de la industria para evaluar su posición en el mercado y su competitividad (benchmarking) (Parra & Crespo, 2019).

5.3.4 Ejemplo de las unidades operativas de producción

Suponga que una fábrica de muebles produce 100 sillas en un día de trabajo de 8 horas. El cálculo de las UOP utilizando la ecuación (1) sería el siguiente:

$$UOP = \frac{100\ sillas}{8\ horas} = 12{,}5\ sillas\ por\ hora$$

En este ejemplo, la fábrica produce 12,5 sillas por hora como promedio, lo que proporciona una medida cuantitativa de su capacidad de producción (Montilla, 2019).

5.4 Cronograma de mantenimiento preventivo

Un cronograma de mantenimiento preventivo es una herramienta crucial para planificar y llevar a cabo actividades de mantenimiento de manera sistemática y programada en una organización (Gross, 2002). Estos cronogramas ayudan a garantizar que los activos físicos, equipos y sistemas se mantengan en condiciones óptimas de funcionamiento, minimizando el riesgo de fallas inesperadas, reduciendo costos de reparación y alargando la vida útil de los activos físicos (Mora, 2012). A continuación, se explorará en detalle cómo se crea un cronograma de mantenimiento preventivo, junto con ejemplos para ilustrar su aplicación práctica.

5.4.1 Pasos para crear un cronograma de mantenimiento preventivo

Se recomienda seguir los siguientes pasos para elaborar un cronograma de mantenimiento preventivo.

a. El primer paso es identificar todos los activos físicos, equipos o sistemas que requieren mantenimiento preventivo. Esto puede incluir máquinas, vehículos, sistemas de climatización, instalaciones eléctricas, entre otros (García, 2003).
b. Determine qué tareas específicas de mantenimiento deben realizarse en cada activo físico. Esto puede incluir inspecciones, lubricación, calibración, cambio de piezas, limpieza y otros procedimientos recomendados por el fabricante o basados en la experiencia (Moubray, 2004).
c. Determine con qué período o frecuencia deben llevarse a cabo las tareas de mantenimiento. Los intervalos de tiempo pueden variar según el tipo de activo físico y la criticidad. Algunos activos físicos pueden requerir mantenimiento mensual, mientras que otros pueden necesitarlo trimestral o anualmente (Moubray, 2004).
d. Cree un cronograma o calendario que especifique cuándo se realizarán las tareas de mantenimiento para cada activo físico. Esto implica asignar fechas específicas o períodos dentro del año para llevar a cabo las actividades programadas (Mora, 2012).
e. Asegúrese de que se asignen los recursos necesarios para llevar a cabo las tareas de mantenimiento. Esto incluye personal

capacitado, herramientas, piezas de repuesto y presupuesto (Mora, 2012).

f. Lleve un registro detallado de todas las actividades de mantenimiento mediante la documentación apropiada, incluyendo fechas, resultados, piezas reemplazadas y cualquier problema identificado. La documentación es esencial para el seguimiento y la toma de decisiones futuras (García, 2003).

g. Revisión y mejora continua: Revise regularmente el cronograma de mantenimiento preventivo para identificar áreas de mejora. Esto puede incluir ajustar las frecuencias de mantenimiento, optimizar los procedimientos y utilizar datos recopilados para tomar decisiones informadas (Mora, 2012).

5.4.2 Ejemplos de cronogramas de mantenimiento preventivo

A continuación, se detallan algunos ejemplos de cronogramas de mantenimiento preventivo para algunos tipos de máquinas.

a. Mantenimiento preventivo de vehículos:

- Identificación de activos físicos: Flota de vehículos de la empresa.
- Tareas de mantenimiento: Cambio de aceite, inspección de frenos, rotación de neumáticos, verificación de fluidos, limpieza del filtro de aire (Dhillon, 2002).
- Frecuencias: Cambio de aceite cada 5,000 km, inspección de frenos cada 10,000 km, rotación de neumáticos cada 10,000 km, verificación de fluidos mensual, limpieza del filtro de aire trimestral.
- Cronograma. Ejemplo de un vehículo:

- Cambio de aceite: 15 de enero, 20 de junio.
- Inspección de frenos: 30 de marzo, 30 de septiembre.
- Rotación de neumáticos: 1 de abril, 1 de octubre.
- Verificación de fluidos: Primero de cada mes.
- Limpieza del filtro de aire: 1 de enero, 1 de abril, 1 de julio, 1 de octubre.

b. Mantenimiento preventivo de equipos de producción:

- Identificación de activos físicos: Máquinas de una planta de manufactura.
- Tareas de mantenimiento: Lubricación, inspección de componentes, cambio de filtros, calibración (García, 2003).
- Frecuencias: Lubricación semanal, inspección mensual, cambio de filtros trimestral, calibración anual.
- Cronograma: Ejemplo de una máquina:

- Lubricación: Todos los lunes.
- Inspección: Primer día de cada mes.
- Cambio de filtros: 1 de enero, 1 de abril, 1 de julio, 1 de octubre.
- Calibración: 1 de enero.

Estos ejemplos ilustran cómo se puede crear un cronograma de mantenimiento preventivo para diferentes tipos de activos físicos. La planificación y seguimiento meticulosos de las tareas de mantenimiento son esenciales para mantener un funcionamiento eficiente y prolongar la vida útil de los activos físicos en una organización (Mora, 2012).

CAPÍTULO VI

6 PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO

La programación del mantenimiento es un proceso esencial en la gestión de activos físicos y equipos dentro de una organización. Consiste en la planificación y programación de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de manera sistemática y eficiente (García, 2003). Esta programación garantiza que las tareas se realicen en el momento adecuado, con los recursos necesarios y de acuerdo con los procedimientos establecidos. A continuación, se tratará en detalle la programación del mantenimiento y su importancia en diferentes contextos (Mobley et al., 2008).

6.1 Importancia de la programación del mantenimiento

La programación del mantenimiento es de relevancia crítica debido a los siguientes motivos:

- La programación adecuada del mantenimiento permite realizar las tareas en momentos que no afecten significativamente la producción o las operaciones normales de la organización, reduciendo así el tiempo de inactividad no planificado (Mobley et al., 2008).
- Al programar con anticipación, se pueden asignar eficientemente recursos como personal, herramientas, piezas de repuesto y equipos de manera que estén disponibles cuando se necesiten (García, 2003).

- Las actividades de mantenimiento programadas permiten abordar problemas de seguridad de manera proactiva, lo que reduce el riesgo de accidentes en el lugar de trabajo (García, 2003).
- La programación del mantenimiento preventivo garantiza que los equipos se mantengan en condiciones óptimas, lo que prolonga su vida útil y maximiza el retorno de la inversión (Campbell et al., 2011).
- En muchas industrias, existen regulaciones estrictas en cuanto al mantenimiento de equipos y sistemas. La programación adecuada ayuda a garantizar el cumplimiento de estas regulaciones (Mobley, Higgins, and Wikoff 2008b).
- Al realizar el mantenimiento de manera programada, se puede mantener la calidad y la consistencia en la producción y los procesos (Campbell et al., 2011).

6.2 Pasos para la programación del mantenimiento

Para la elaboración de un programa de mantenimiento exitoso, se recomienda seguir los siguientes pasos:

a. Determine qué activos físicos, equipos o sistemas son críticos para las operaciones de su organización. Estos activos físicos deben recibir prioridad en la programación del mantenimiento (Parra & Crespo, 2019).
b. Reúna la información detallada sobre los activos físicos, incluyendo las tareas de mantenimiento requeridas, las frecuencias recomendadas y las especificaciones del fabricante (García, 2003).

c. Establezca prioridades en función de la criticidad de los activos físicos, la importancia para la producción y la seguridad (García, 2003).
d. Cree un calendario que especifique cuándo se realizarán las tareas de mantenimiento para cada activo físico. Esto puede incluir fechas específicas o intervalos de tiempo (semanal, mensual, trimestral, anual) (García, 2003).
e. Asegúrese de que los recursos necesarios estén disponibles para llevar a cabo las tareas programadas, lo que incluye personal capacitado, herramientas, piezas de repuesto y presupuesto (García, 2003).
f. Mantenga registros detallados de todas las actividades de mantenimiento, incluyendo fechas, resultados, piezas reemplazadas y cualquier problema identificado. Esto es esencial para el seguimiento y la mejora continua (García, 2003).

6.3 Herramientas de programación del mantenimiento

La programación del mantenimiento puede realizarse manualmente o utilizando un Software de Gestión de Mantenimiento (CMMS, del inglés *Computerized Maintenance Management System*), Los CMMS son sistemas diseñados para facilitar la planificación, programación y seguimiento de todas las actividades de mantenimiento. Estas herramientas pueden ayudar a gestionar la programación de manera más eficiente al proporcionar recordatorios automáticos, informes de rendimiento y acceso a información detallada sobre activos físicos y tareas de mantenimiento (Crespo et al., 2004).

6.4 Programación de órdenes de trabajo

La programación de órdenes de trabajo es una parte crítica de la gestión del mantenimiento en una organización. Permite planificar, coordinar y ejecutar de manera eficiente las actividades de mantenimiento necesarias para mantener los activos físicos, equipos y sistemas en condiciones óptimas de funcionamiento. Dentro de la gestión del mantenimiento, se pueden distinguir tres tipos principales de órdenes de trabajo preventivas, correctivas y retrasadas. A continuación, se ampliará en detalle cada uno de estos tipos de órdenes de trabajo y cómo se programan y gestionan en una organización (Mobley et al., 2008).

6.4.1 Órdenes de trabajo preventivas

Las órdenes de trabajo preventivas son aquellas que se programan de manera regular y planificada para evitar problemas o averías futuras en los activos físicos de una organización. Estas órdenes de trabajo son fundamentales para mantener la fiabilidad y el rendimiento de los activos físicos a lo largo del tiempo (Mobley, 2004).

Algunos ejemplos de tareas de mantenimiento preventivo incluyen:

- Inspecciones regulares.
- Cambio de piezas desgastadas.
- Lubricación de componentes móviles.
- Calibración de equipos.
- Limpieza y ajustes periódicos.

La programación de órdenes de trabajo preventivas implica:

- Identificar los activos físicos que requieren mantenimiento preventivo.
- Determinar la frecuencia con la que se deben llevar a cabo las tareas preventivas (diaria, semanal, mensual, anual, etc.).
- Establecer un calendario que especifique cuándo se realizarán estas tareas.

Por ejemplo, en una planta de producción, se puede programar la inspección mensual de una máquina clave y el cambio trimestral de su filtro de aire como parte de las órdenes de trabajo preventivas (Montilla, 2019).

6.4.2 Órdenes de trabajo correctivas

Las órdenes de trabajo correctivas son aquellas que se generan en respuesta a una falla, avería o problema identificado en un activo físico o equipo. Estas órdenes de trabajo tienen como objetivo restaurar el activo físico a su estado de funcionamiento normal lo más rápido posible (Crespo et al., 2004). Las tareas de mantenimiento correctivo pueden incluir:

- Reparación de componentes defectuosos.
- Diagnóstico y solución de problemas.
- Reemplazo de piezas dañadas.
- Restauración de sistemas y equipos después de una avería.

La programación de órdenes de trabajo correctivas implica:

- Responder de manera oportuna y eficiente a las fallas o problemas.

- Asignar recursos (personal, piezas de repuesto, herramientas) de manera adecuada.
- Documentar y registrar la causa de la falla y las acciones tomadas.

Es importante destacar que, aunque las órdenes de trabajo correctivas no se planifican con anticipación, es crucial gestionarlas de manera efectiva para minimizar el tiempo de inactividad y reducir costos (Dhillon, 2002).

6.4.3 Órdenes de trabajo retrasadas

Las órdenes de trabajo retrasadas son aquellas que originalmente se programaron para realizarse en una fecha específica, pero por diversas razones se posponen o retrasan. Esto puede deberse a limitaciones presupuestarias, falta de recursos, cambios en la prioridad de las tareas o decisiones estratégicas de la organización. La gestión de órdenes de trabajo retrasadas puede ser un desafío, ya que posponer el mantenimiento preventivo puede aumentar el riesgo de fallas futuras o deterioro de los activos físicos (Montilla, 2019).

Al programar órdenes de trabajo retrasadas, es importante:

- Evaluar cuidadosamente las razones para el retraso y determinar si es seguro y viable posponer la tarea.
- Establecer una nueva fecha o período para la ejecución de la orden de trabajo.
- Comunicar los cambios a los equipos de mantenimiento y otras partes interesadas.

Por ejemplo, si una inspección mensual de una máquina se retrasa debido a una emergencia operativa, se debe reprogramar para una fecha posterior para garantizar que no se descuide el mantenimiento necesario (Montilla, 2019).

6.5 Cálculo de recursos

El cálculo de recursos es un proceso fundamental en la gestión de proyectos y operaciones, que implica estimar y asignar los recursos necesarios para llevar a cabo una tarea, proyecto o actividad de manera eficiente y efectiva. Estos recursos pueden ser de diferentes tipos, como recursos humanos, financieros, materiales y temporales. El cálculo de recursos es crucial para asegurar que una organización utilice sus recursos de manera óptima y alcance sus objetivos de manera efectiva. A continuación, se profundizará en cómo se realiza el cálculo de recursos y su importancia en diversos contextos (Parra & Crespo, 2019).

6.5.1 Pasos para el cálculo de recursos

A continuación, se recomiendan los siguientes pasos para calcular los recursos requeridos por las actividades de mantenimiento programadas.

a. El primer paso es identificar los recursos requeridos para llevar a cabo una tarea o proyecto. Esto implica una evaluación detallada de las necesidades específicas en términos de personal, financiamiento, materiales y tiempo (Crespo et al., 2004).
b. Una vez que se han identificado los recursos, se debe estimar la cantidad necesaria de cada uno. Esto puede involucrar

estimaciones basadas en la experiencia, análisis de datos históricos o cálculos detallados (Crespo et al., 2004).

c. Después de estimar la cantidad necesaria de recursos, se asignan a las tareas o proyectos correspondientes. Esto implica determinar cuántos recursos se asignarán a cada actividad y en qué momento se necesitarán (Crespo et al., 2004).

d. Una vez asignados, los recursos deben programarse para que estén disponibles cuando se necesiten. Esto implica crear un calendario o un plan de trabajo que especifique cuándo y cómo se utilizarán los recursos a lo largo del proyecto o actividad (Crespo et al., 2004).

e. A medida que avanza el proyecto o actividad, es esencial realizar un seguimiento de la utilización de los recursos y gestionar cualquier desviación o cambio en los planes originales. Esto puede implicar ajustes en la asignación de recursos, cambios en el calendario o reevaluación de las estimaciones (Crespo et al., 2004).

6.5.2 Tipos de recursos en el cálculo

Los distintos tipos de recursos empleados para la ejecución de las actividades de mantenimiento programadas, contemplan las siguientes:

- Recursos Humanos: Incluye el personal necesario para llevar a cabo una tarea o proyecto. Esto implica identificar las habilidades y competencias requeridas, así como la cantidad de tiempo que cada miembro del equipo dedicará al proyecto (Crespo et al., 2004).

- Recursos Financieros: Refiere al capital y al presupuesto necesario para financiar el proyecto o la actividad. Esto incluye costos de personal, materiales, equipos, gastos generales y cualquier otro gasto relacionado (Crespo et al., 2004).
- Recursos Materiales: Incluye los materiales y suministros necesarios para llevar a cabo la tarea o proyecto. Esto puede ser desde materias primas hasta equipo especializado y herramientas (Crespo et al., 2004).
- Recursos Tecnológicos: Se refiere al hardware y software necesario para llevar a cabo una tarea. Puede incluir computadoras, software especializado, servidores, etc (Crespo et al., 2004).
- Recursos Temporales: Este tipo de recurso se refiere al tiempo necesario para completar una tarea o proyecto. Implica la programación adecuada de actividades y la gestión del tiempo para asegurarse de que se cumplan los plazos (Crespo et al., 2004).

6.5.3 Importancia del cálculo de recursos

El cálculo de recursos es esencial por varias razones:

- Permite utilizar los recursos disponibles de manera eficiente y evitar desperdicios.
- Ayuda a planificar proyectos y tareas de manera realista, evitando retrasos y desviaciones presupuestarias.
- Asegura que las personas adecuadas con las habilidades correctas estén asignadas a las tareas correspondientes.

- Identifica posibles limitaciones en recursos y permite tomar medidas preventivas.
- Permite controlar y gestionar los costos a lo largo del proyecto o actividad.
- Ayuda a cumplir los plazos establecidos y a evitar retrasos costosos.

El cálculo de recursos es un proceso esencial en la gestión de proyectos y operaciones que involucra la identificación, estimación y asignación de los recursos necesarios. Este proceso garantiza una planificación precisa, una asignación eficiente de recursos y un control efectivo de costos y plazos, lo que contribuye al éxito y la eficiencia de las organizaciones en una variedad de industrias y contextos (Dhillon 2002).

6.6 Gestión del backlog y frontlog

La gestión del *backlog* y el *frontlog* constituye un elemento crucial en la planificación y ejecución de proyectos y tareas de mantenimiento industrial. Estos términos, inicialmente empleados en la gestión de proyectos ágiles y en la gestión de tareas en equipos de desarrollo de software, extienden su aplicabilidad a la gestión de activos físicos y operaciones. A continuación, se detallan los conceptos de *backlog* y *frontlog*, así como sus métodos de gestión y su relevancia operativa (Montilla, 2019).

6.6.1 Backlog

El *backlog* se define como el conjunto de una lista de elementos o tareas de mantenimiento pendientes de completar. Estos elementos comprenden funcionalidades, características, tareas, mejoras o cualquier unidad de trabajo que aún no se ha ejecutado. El *backlog* presenta un carácter dinámico y exige una actualización continua a medida que se agreguen, modifiquen o eliminen elementos. Los *backlogs* se utilizan comúnmente en metodologías ágiles como Scrum y Kanban (Montilla, 2019).

6.6.2 Frontlog

El *frontlog* es el opuesto del *backlog*, representa las tareas o elementos que están programadas y listas para ser ejecutadas en un período de tiempo específico. Se refiere a las tareas que se seleccionan de manera activa desde el *backlog* para ser ejecutadas durante un ciclo o iteración determinada. El *frontlog* está compuesto por elementos que han pasado por la planificación y priorización y que están en el proceso activo de ejecución (Montilla, 2019).

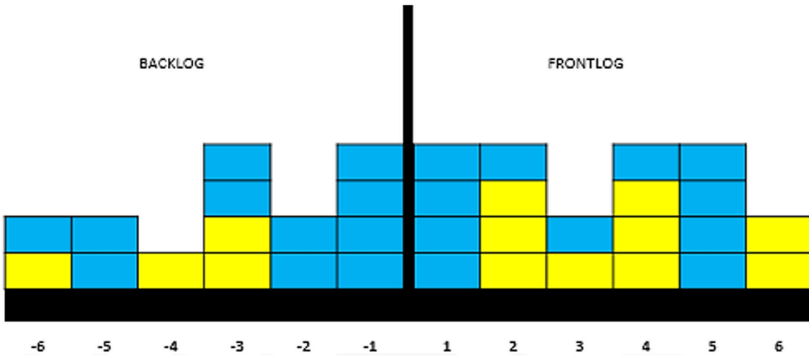

Figura 6.1. Representación gráfica del backlog y frontlog

Fuente: Montilla, (2019)

Nota. La figura presenta barras apiladas por intervalo, la sección izquierda corresponde al backlog y la derecha al frontlog

6.6.3 Gestión de backlogs

La gestión de *backlogs* implica varias actividades clave:

- Los elementos del *backlog* se crean a partir de los requerimientos identificados en los activos físicos del proyecto o del producto. Se incluyen solicitudes de clientes, nuevas características, correcciones de errores, inspecciones de mejoras y más.
- Los elementos del *backlog* se priorizan en función de su importancia, valor estratégico, la urgencia o cualquier otro criterio relevante. Esto garantiza que las tareas más críticas se aborden primero.
- Cada elemento del *backlog* se estima en términos de la cantidad de trabajo o esfuerzo requerido para completarlo. Esta estimación

puede expresarse en unidades de tiempo o puntos de historia, dependiendo de la metodología utilizada.

- Los elementos priorizados y estimados se seleccionan y planifican para ser parte de una iteración o ciclo de desarrollo específico, que se encuentra en el *frontlog*.
- A medida que se avanza en el proyecto, se actualiza el *backlog* con nuevos elementos y cambios en las prioridades, estimaciones o requerimientos.

6.6.4 Gestión de frontlogs

La gestión de *frontlogs* se enfocan en la ejecución y el control de las tareas programadas para una iteración o ciclo específico. Implica:

- Los miembros del equipo trabajan en las tareas del *frontlog* durante el período programado.
- Se realiza un seguimiento constante del progreso de las tareas en el *frontlog* para verificar que se estén completando de acuerdo con lo planificado.
- Si surgen problemas o bloqueos durante la ejecución de las tareas, se abordan de inmediato para evitar retrasos.
- Se mantiene una comunicación efectiva dentro del equipo y con los *stakeholders*, para asegurar que todos estén al tanto del progreso y de cualquier cambio en el *frontlog*.

6.6.5 Importancia de la gestión de backlogs y frontlogs

La gestión adecuada de *backlogs* y *frontlogs* es esencial por varias razones:

- Permite a las organizaciones identificar y ejecutar primero las tareas más importantes y valiosas.
- Facilita la adaptación a cambios en los requerimientos o prioridades a medida que surgen.
- Contribuye a mantener un flujo de trabajo constante y eficiente, evitando cuellos de botella y desperdicio de recursos.
- Mantiene a todos los miembros del equipo y a los *stakeholders* informados sobre el progreso y los cambios en las tareas.
- Facilita la entrega de valor en incrementos, lo que permite a los equipos responder rápidamente a las necesidades cambiantes del cliente o del mercado.

6.7 KPI básicos del mantenimiento

Los Indicadores Clave de Desempeño (KPI, del inglés *Keys Performance Indicator*) en el mantenimiento son métricas esenciales que se utilizan para medir y evaluar la eficacia y eficiencia de las operaciones de mantenimiento en una organización (Crespo et al., 2004). Estos KPI proporcionan información valiosa sobre el rendimiento de los activos físicos, la calidad de las actividades de mantenimiento y la gestión de recursos (Smith & Mobley, 2008). A continuación, se describen ampliamente algunos KPI básicos en el mantenimiento y su importancia.

6.7.1 Disponibilidad de activos físicos

La disponibilidad de activos físicos, conocido en inglés como *Fisical Asset Availability* es un KPI fundamental que mide el tiempo en que un activo físico o equipo está operativo y disponible para su uso en

comparación con el tiempo total. Se expresa típicamente como un porcentaje. Una alta disponibilidad indica que los activos físicos se mantienen en buenas condiciones y están listos para su uso cuando se necesiten (Montilla, 2019). La disponibilidad de activos físicos es esencial para garantizar la continuidad de las operaciones y minimizar el tiempo de inactividad no planificado (Mora-Gutiérrez, 2022).

6.7.2 Tiempo medio entre fallas

El Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF, del inglés *Mean Time Between Failures*) mide el tiempo promedio que transcurre entre las fallas de un activo físico o equipo. Cuanto mayor sea el MTBF, más confiable será el activo físico en términos de sin problemas. El MTBF ayuda a identificar activos físicos propensos a fallas frecuentes y permite la planificación de acciones de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad y fiabilidad de las máquinas (García & Papaelias, 2020). En la Figura 6.1 se presenta un ejemplo donde se muestran los valores obtenidos del MTBF para un activo físico determinado.

6.7.3 Tiempo medio hasta la recuperación

El Tiempo Medio Hasta la Recuperación (MTTR, del inglés *Mean Time To Restoration*) representa el tiempo promedio necesario para reparar un activo físico o equipo después de una falla. Generalmente está constituido por los siguientes tiempos:

- Tiempo de diagnóstico de averías,
- Tiempo de mantenimiento correctivo activo,
- Verificación de la función,

- Retrasos técnicos,
- Retrasos logísticos; y
- Retrasos administrativos internos

Cuanto menor sea el MTTR, más rápido se puede restaurar un activo físico a la operación normal, por lo que un MTTR bajo es crucial para minimizar el tiempo de inactividad y los costos asociados con las reparaciones (Crespo et al., 2004). La Figura 6.2 se presenta un ejemplo del valor del MTTR que permite relacionar el desempeño real con los criterios de disponibilidad y mantenibilidad.

Figura 6.2. Ejemplo de MTBF, MTTR y cumplimiento de mantenimiento

Fuente: Montilla, (2019)

Nota. Los valores presentados ilustran el cálculo del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y el porcentaje de cumplimiento del programa de mantenimiento.

6.7.4 Eficiencia del trabajo de mantenimiento

La eficiencia del trabajo de mantenimiento conocida en inglés como *Maintenance Labor Efficiency*, es un KPI que mide la eficiencia del trabajo de mantenimiento al comparar el tiempo real empleado para una

tarea de mantenimiento con el tiempo estimado. Puede ayudar a identificar problemas de gestión del tiempo y recursos contribuyendo a un uso más efectivo de los recursos y a la reducción de costos (Dhillon, 2002).

6.7.5 Cumplimiento de programas de mantenimiento preventivo

El cumplimiento de programas de mantenimiento preventivo conocido en inglés como *Preventive Maintenance Compliance*, es un KPI que evalúa el grado en que se cumplen las tareas programadas de mantenimiento preventivo en comparación con las programadas. Se expresa como un porcentaje (Pérez, 2021).

Tal como se mostró en la Figura 6.1, este indicador permite visualizar el nivel de cumplimiento alcanzado durante un periodo analizado. El cumplimiento del mantenimiento preventivo es esencial para alargar la vida útil de los activos físicos.

6.7.6 Costo de mantenimiento como porcentaje de los ingresos

El costo de mantenimiento como porcentaje de los ingresos conocido en inglés como *Maintenance Cost as a Percentage of Revenue*, es un KPI que compara el costo total de las actividades de mantenimiento con los ingresos totales de la organización. Puede ayudar a evaluar la eficiencia en el uso de recursos y a establecer presupuestos realistas (Pérez, 2021).

6.7.7 Uso de repuestos

El uso de repuestos conocido en inglés como *Spare Parts Usage*, este KPI rastrea el uso de piezas de repuesto y componentes en comparación

con las previsiones o el inventario disponible. Un control eficiente del uso de repuestos evita interrupciones en la producción y costos innecesarios (Dhillon, 2002).

6.7.8 Índice de seguridad en mantenimiento

El Índice de seguridad en mantenimiento conocido en inglés como *Maintenance Safety Index*, evalúa la seguridad de las operaciones de mantenimiento al rastrear incidentes y accidentes relacionados con el mantenimiento (Pérez, 2021).

Estos KPI básicos del mantenimiento proporcionan información esencial para la gestión de activos físicos y la toma de decisiones. La elección de los KPI adecuados depende de los objetivos y las necesidades específicas de la organización, pero estos indicadores ofrecen una base sólida para evaluar el rendimiento del mantenimiento y optimizar las operaciones (García & Papaelias, 2020).

CONCLUSIONES

Se concluye que la estandarización terminológica basada en normas internacionales constituye el cimiento epistémico para una gestión técnica rigurosa y unificada, aportando técnica y científicamente con la creación de un marco conceptual que permite la interoperabilidad de datos y la comprensión universal de los procesos del mantenimiento industrial.

Se establece que la eficiencia del mantenimiento depende directamente de la arquitectura organizacional del departamento de mantenimiento y de la gestión por competencias del factor humano involucrado. En la presente obra se propone una estructura que optimiza la comunicación técnica y la resiliencia operativa ante la incertidumbre de la falla.

Se determina que la sistematización del flujo documental, mediante el diseño riguroso de órdenes de trabajo, asegura la trazabilidad necesaria para el análisis estadístico. Se propone una estructura lógica de los procesos internos para asegurar la trazabilidad absoluta de la información técnica. El diseño del flujo documental garantiza que los registros operativos se transformen en evidencia empírica para la toma de decisiones y la mejora continua.

Se aplica la taxonomía de la norma ISO 14224 para la jerarquización de activos físicos bajo criterios de criticidad operativa. La correcta codificación permite vincular las actividades de mantenimiento de los activos físicos con otras áreas de la planta como la de operaciones, la contable, la logística, entre otros.

Se desarrolla una metodología de planificación sistemática basada en el cálculo de las UOP. Este modelo matemático permite optimizar las frecuencias de intervención preventiva según el comportamiento funcional y el desgaste real de los equipos.

Se validan métricas de desempeño que posibilitan la cuantificación objetiva de la disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad técnica. Estos indicadores constituyen un sistema de soporte a la decisión fundamentado en el análisis estadístico y el monitoreo constante de los activos físicos.

GLOSARIO

Accesorio: Elemento que forma parte de una máquina o sistema como complemento funcional, tales como arandelas, tuercas, fusibles o resistencias (Pérez, 2021).

Archivo Maestro de Máquinas: Base de datos central donde se consolidan las especificaciones técnicas, operativas y administrativas de cada ítem (Montilla, 2019).

Backlog: Carga de trabajo pendiente que representa el total de horas-hombre de las órdenes de trabajo no ejecutadas (Montilla, 2019).

Centro de costos: Unidad contable asignada a un área o máquina para permitir una imputación precisa de gastos y presupuesto (Crespo et al., 2004).

Codificación técnica: Sistema alfanumérico empleado para identificar de forma unívoca a los activos y su ubicación jerárquica (Montilla, 2019).

Cronograma de mantenimiento: Documento que detalla la programación temporal de las tareas preventivas y los recursos necesarios (Mora, 2012).

Disponibilidad: Capacidad de un activo para estar en estado de realizar su función bajo demanda en un instante dado (Pérez, 2021).

Documentos de la fase operativa: Registros generados durante la ejecución de tareas, tales como órdenes de trabajo e informes de cierre (Montilla, 2019).

Fiabilidad: Probabilidad de que un activo desempeñe su función requerida sin fallas bajo condiciones establecidas (Mora-Gutiérrez, 2022).

Frontlog: Cantidad de trabajo de mantenimiento programado que está listo para ser ejecutado en el corto plazo (Montilla, 2019).

Gestión de activos: Actividad coordinada de una organización para obtener valor a partir de sus activos físicos (Hastings, 2015).

Hoja técnica: Documento que registra las especificaciones de diseño y operación proporcionadas por el fabricante del equipo (Montilla, 2019).

Indicador clave de desempeño (KPI): Métrica cuantitativa utilizada para evaluar la eficiencia y efectividad de la gestión técnica (Pérez, 2021).

Ingeniero de confiabilidad: Profesional encargado de optimizar la vida útil, mantenibilidad y disponibilidad mediante el análisis de datos de falla (Parra & Crespo, 2019).

Mantenibilidad: Facilidad con la que un activo puede ser restaurado a su condición operativa tras una intervención técnica (Parra & Crespo, 2019).

Orden de trabajo (OT): Documento oficial que autoriza, detalla y registra los recursos y actividades de una intervención técnica (Montilla, 2019).

Planificador de mantenimiento: Persona responsable de coordinar la disponibilidad de recursos y tiempos para las órdenes de trabajo (Crespo et al., 2004).

Taxonomía: Clasificación sistemática y jerárquica de los activos físicos en niveles que facilitan la recolección de datos (ISO 14224, 2016).

Tiempo medio entre fallas (MTBF): Indicador de fiabilidad que mide el tiempo promedio operativo entre eventos de falla sucesivos (Pérez, 2021).

Tiempo medio hasta la recuperación (MTTR): Métrica de mantenibilidad que cuantifica el tiempo promedio requerido para una restauración técnica (Pérez, 2021).

Ubicación técnica: Identificación del lugar geográfico o funcional donde se encuentra instalado un activo físico (ISO 14224, 2016).

Unidades operativas de producción (UOP): Métrica técnica utilizada para determinar las frecuencias de mantenimiento basadas en el uso real (Montilla, 2019).

REFERENCIAS

Bányai, T. (2024). *Recent Topics in Maintenance Management* (Vol. 6). IntechOpen. https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.1001757

BS EN 17485. (2021). *Maintenance - Maintenance within the framework of physical asset management*. European Committee for Standardization.

Campbell, J., Jardine, A., & Mcglynn, J. (2011). *Aseet Management Excellence - Optimizing Equipment Life - Cycle Decisions* (CRC Press, Ed.; 2a ed.). CRC Press.

Cárcel, F. (2014). *La gestión del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial - Investigación sobre la incidencia en sus actividades estratégicas*. OmniaScience. https://doi.org/10.3926/oms.197

Crespo, A., Moreu, P., & Sánchez, A. (2004). *Ingeniería de mantenimiento - Técnicas y métodos de aplicación a la fase operativa de los equipos* (1a ed.). AENOR.

Dhillon, B. (2002). *Engineering maintenance - A modern approach*. CRC Press.

EN 16646. (2014). *Maintenance - Maintenance within physical asset management*. European Committee for Standardization.

García, F., & Papaelias, M. (2020). *Maintenance Management* (IntechOpen, Ed.). IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.79248

García, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento - Manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial* (1a ed.). Díaz de Santos S. A.

González, F. (2006). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado* (2a ed.). Fundación Confemetal.

Gramsch, E. (2008). *Manual de la Gestión del Mantenimiento Industrial*.

Gross, J. (2002). *Fundamentals of Preventive Maintenance*. AMACOM.

Hastings, N. (2015). *Physical Asset Management - With an Introduction to ISO55000* (2a ed.). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14777-2

INEN. (2025). *Norma Tecnica Ecuatoriana NTE-INEN*. https://www.normalizacion.gob.ec/

ISO 14224. (2016). *Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. Organización Internacional de Normalización.

ISO 55000. (2014). *Asset management — Overview, principles and terminology*. International Organization for Standardization.

Lin, J., Zhang, L., & Shao, H. (2025). *Industrial AI Applications in Fault Detection, Diagnosis, and Prognosis*. MDPI - Multidisciplinary

Digital Publishing Institute. https://doi.org/10.3390/BOOKS978-3-7258-5692-3

Małgorzata, J.-K. (2024). Maintenance 4.0 Technologies for Sustainable Manufacturing. En *Maintenance 4.0 Technologies for Sustainable Manufacturing*. MDPI - Multidisciplinary Digital Publishing Institute. https://doi.org/10.3390/BOOKS978-3-7258-2624-7

Meruane, V. (2011). *Gestión de activos físicos (Apuntes para el curso ME5701)*. Universidad de Chile.

Mobley, K. (2004). *Maintenance Fundamentals* (2a ed.). Elsevier Butterworth-Heinemann.

Mobley, R., Higgins, L., & Wikoff, D. (2008). *Maintenance engineering handbook* (7a ed.). McGraw-Hill Companies, Inc. https://doi.org/10.1036/0071546464

Montilla, C. (2019). *Mantenimiento Industrial y su Administración* (1a ed.). Editorial Universidad Tecnológica de Pereira.

Mora, A. (2012). *Mantenimiento Industrial Efectivo* (COLDI, Ed.; 2a ed.). COLDI Limitada.

Mora-Gutiérrez, A. (2022). *Mantenimiento Vanguardia & Analytics generador de competitividad: Apalancamiento de mantenimiento en activos, con Big Data & Business Intelligence*. CIMPRO SAS Editores.

Moubray, J. (2004). *RCM II Mantenimiento centrado en la confiabilidad* (2a ed.). Aladon LLC.

NEC. (2025). *Norma Ecuatoriana de la Construccion*. https://www.habitatyvivienda.gob.ec/presentacion-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/

Parra, C., & Crespo, A. (2019). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos* (INGEMAN, Ed.; 2a ed.).

PAS 55-1. (2004). *Asset Management. Specification for the optimized management of physical assets*. British Standards Institution.

PAS 55-1. (2008). *Asset Management. Specification for the optimized management of physical assets*. British Standards Institution.

Pérez, F. (2021). *Conceptos generales en la gestion del mantenimiento industrial*. USTA.

Silva, P., & Orrego, J. (2009). *Mantenimiento en la Práctica - Lo que un Gerente de Confiabilidad debe Saber* (1a ed.). Pedro Eliseo Silva Ardila.

Smith, R., & Mobley, R. (2008). *Rules of thumb for maintenance and reliability engineers* (1a ed.). Butterworth-Heinemann - Elsevier.

Terpenny, J., Kurfess, T., Prabhu, V., & Wu, D. (2025). *Sensors for Machine Condition Monitoring, Diagnostics, Prognostics and Maintenance*. MDPI - Multidisciplinary Digital Publishing Institute. https://doi.org/10.3390/BOOKS978-3-7258-5462-2

Torres, M. (2018). *Asset Maintenance Engineering Methodologies*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.82795

UNE-EN 13306. (2018). *Mantenimiento - Terminología del mantenimiento*. AENOR INTERNACIONAL S.A.U. www.aenor.com

UNE-EN 13460. (2009). *Mantenimiento - Documentos para el mantenimiento*. AENOR INTERNATIONAL S.A.U.

UNE-EN 16646. (2015). *Mantenimiento - Mantenimiento en la gestión de los activos físicos*. AENOR INTERNACIONAL S.A.U. http://www.aenor.com

UNE-EN 17485. (2023). *Mantenimiento - Mantenimiento en el marco de la gestión de activos físicos. Marco para mejorar el valor de los activos físicos a lo largo de todo su ciclo de vida*. AENOR INTERNACIONAL S.A.U. www.aenor.com

Administración del mantenimiento industrial estrategia para la excelencia en la gestión de activos físicos, se publicó en el mes de junio de 2026.

ISBN: 978-9907-802-05-4

DOI: https://doi.org/10.56519/libro.mantenimiento.2026

Grupo Editorial BLR
Ecuador
Cel: +593 98 320 4362
https://grupoblr.com/
publicaciones@grupoblr.com

BIOGRAFÍA DE LOS AUTORES

CÉSAR GALLEGOS-LONDOÑO:

Ingeniero de Mantenimiento Industrial, por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; Maestría en Gestión del Mantenimiento Industrial. Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Experiencia en montajes eléctricos 9 años, Implementación de Software de mantenimiento por 17 años, forma parte del grupo de Investigación Ciencia del Mantenimiento (CIMANT).

EDUARDO HERNÁNDEZ-DÁVILA:

Ingeniero de Mantenimiento y Magíster en Gestión del Mantenimiento Industrial por la ESPOCH, y Máster en Ingeniería Matemática y Computación por la UNIR. Docente con 18 años de experiencia en mantenimiento y fiabilidad. Investigador señor del grupo CIMANT y exdirectivo de áreas de mantenimiento en empresas manufactureras.

FÉLIX GARCÍA-MORA:

Ingeniero de Mantenimiento y Magister en Ingeniería con mención en Gerencia e Ingeniería de Mantenimiento de la Universidad Nacional de Ingeniería en Lima – Perú. Docente con 5 años de experiencia en mantenimiento y fiabilidad. Investigador senior del grupo CIMANT y exdirectivo de áreas de mantenimiento en empresas manufactureras.

ADMINISTRACIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL ESTRATEGIA PARA LA EXCELENCIA EN LA GESTIÓN DE ACTIVOS FÍSICOS

Estimado lector, este texto expone la administración del mantenimiento como un pilar estratégico esencial para garantizar la rentabilidad, la seguridad y la continuidad operativa en sectores que van desde la industria pesada (petrolera y manufacturera) hasta servicios críticos como la salud y la hotelería. Su enfoque principal es mitigar fallas y optimizar el uso de activos físicos mediante una gestión técnico-científica que vincula la planificación operativa con indicadores clave de desempeño. La obra se estructura en seis apartados fundamentales. Comienza estableciendo las bases conceptuales y normativas internacionales (como la norma UNE-EN 13306), para luego analizar la organización del talento humano y los modelos de gestión. Posteriormente, detalla la sistematización de procesos y el flujo documental de las órdenes de trabajo, junto con una metodología de codificación y jerarquización de activos basada en la norma ISO 14224, lo que permite un control preciso de los costos del ciclo de vida. Finalmente, el documento aborda la ejecución práctica a través del diseño de planes preventivos y cronogramas sistemáticos. Concluye con la programación técnica del mantenimiento, enfocándose en la optimización de la mano de obra, el manejo de trabajos pendientes (backlog) y la evaluación de la eficiencia mediante métricas críticas como la disponibilidad y el tiempo medio entre fallas.

Agradecemos a todos los lectores que se acercan a esta obra con ánimo de aprender, aplicar y transformar.

GRUPO BLR

Grupo Editorial BLR
Ecuador
Cel: +593 98 320 4362
https://grupoblr.com/
publicaciones@grupoblr.com

ISBN: 978-9907-802-05-4
9 789907 802054