

Santiago Andrés Otero Potosi

Guía general de estudio de la asignatura de

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



Atena
Editora
Año 2024

Santiago Andrés Otero Potosi

Guía general de estudio de la asignatura de

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Atena
Editora
Año 2024

Editora jefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora ejecutiva

Natalia Oliveira

Asistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecario

Janaina Ramos

Proyecto gráfico

Camila Alves de Cremo

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

Imágenes de portada

iStock

Edición de arte

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Derechos de autor © Atena Editora

Derechos de autor del texto © 2024

Los autores

Derechos de autor de la edición ©

2024 Atena Editora

Derechos de esta edición concedidos a Atena Editora por los autores.

Publicación de acceso abierto por Atena Editora



Todo el contenido de este libro tiene una licencia de Creative Commons Attribution License. Reconocimiento-No Comercial-No Derivados 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

El contenido del texto y sus datos en su forma, corrección y confiabilidad son de exclusiva responsabilidad del autor, y no representan necesariamente la posición oficial de Atena Editora. Se permite descargar la obra y compartirla siempre que se den los créditos al autor, pero sin posibilidad de alterarla de ninguna forma ni utilizarla con fines comerciales.

Todos los manuscritos fueron previamente sometidos a evaluación ciega por pares, miembros del Consejo Editorial de esta editorial, habiendo sido aprobados para su publicación con base en criterios de neutralidad e imparcialidad académica.

Atena Editora se compromete a garantizar la integridad editorial en todas las etapas del proceso de publicación, evitando plagios, datos o entonces, resultados fraudulentos y evitando que los intereses económicos comprometan los estándares éticos de la publicación. Las situaciones de sospecha de mala conducta científica se investigarán con el más alto nivel de rigor académico y ético.

Consejo Editorial**Ciencias Exactas y de la Tierra e Ingeniería**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Régina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Guía general de estudio de la asignatura de Mantenimiento Industrial

Diagramación: Ellen Andressa Kubisty

Corrección: Jeniffer dos Santos

Indexación: Amanda Kelly da Costa Veiga

Revisión: El autor

Autor: Santiago Andrés Otero Potosi

Datos de catalogación en publicación internacional (CIP)

G943 Potosi, Santiago Andrés Otero
Guía general de estudio de la asignatura de Mantenimiento Industrial / Santiago Andrés Otero Potosi. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acceso: World Wide Web
Inclui bibliografía
ISBN 978-65-258-2604-2
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.042241007>

1. Mantenimiento industrial. 2. Ingeniería de producción.
I. Potosi, Santiago Andrés Otero. II. Título.

CDD 620.58

Preparado por Bibliotecario Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARACIÓN DEL AUTOR

El autor de este trabajo: 1. Certifica que no tienen ningún interés comercial que constituya un conflicto de interés en relación con el artículo científico publicado; 2. Declaran haber participado activamente en la construcción de los respectivos manuscritos, preferentemente en: a) Concepción del estudio, y/o adquisición de datos, y/o análisis e interpretación de datos; b) Elaboración del artículo o revisión para que el material sea intelectualmente relevante; c) Aprobación final del manuscrito para envío; 3. Acrediten que el texto publicado está completamente libre de datos y/o resultados fraudulentos; 4. Confirmar la cita y la referencia que sean correctas de todos los datos e interpretaciones de datos de otras investigaciones; 5. Reconocen haber informado todas las fuentes de financiamiento recibidas para la realización de la investigación; 6. Autorizar la publicación de la obra, que incluye las fichas del catálogo, ISBN (Número de serie estándar internacional), D.O.I. (Identificador de Objeto Digital) y demás índices, diseño visual y creación de portada, maquetación interior, así como su lanzamiento y difusión según criterio de Atena Editora.

DECLARACIÓN DEL EDITOR

Atena Editora declara, para todos los efectos legales, que: 1. Esta publicación constituye únicamente una cesión temporal del derecho de autor, derecho de publicación, y no constituye responsabilidad solidaria en la creación de manuscritos publicados, en los términos previstos en la Ley. sobre Derechos de autor (Ley 9610/98), en el artículo 184 del Código Penal y en el art. 927 del Código Civil; 2. Autoriza y estimula a los autores a suscribir contratos con los repositorios institucionales, con el objeto exclusivo de difundir la obra, siempre que cuente con el debido reconocimiento de autoría y edición y sin fines comerciales; 3. Todos los libros electrónicos son de acceso abierto, por lo que no los vende en su sitio web, sitios asociados, plataformas de comercio electrónico o cualquier otro medio virtual o físico, por lo tanto, está exento de transferencias de derechos de autor a los autores; 4. Todos los miembros del consejo editorial son doctores y vinculados a instituciones públicas de educación superior, según recomendación de la CAPES para la obtención del libro Qualis; 5. No transfiere, comercializa ni autoriza el uso de los nombres y correos electrónicos de los autores, así como cualquier otro dato de los mismos, para fines distintos al ámbito de difusión de esta obra.

En el complejo entorno de la industria moderna, el mantenimiento industrial se erige como un pilar fundamental para garantizar la operación eficiente y confiable de equipos y activos, la presente guía general de estudio de la asignatura de Mantenimiento Industrial aborda de manera exhaustiva los principios, estrategias y desafíos inherentes al mantenimiento en entornos industriales.

Dentro de estas páginas, se exploran a fondo temas esenciales como la planificación, programación, la gestión de activos, la evaluación de costos y las tecnologías emergentes en el campo del mantenimiento; este documento servirá como fuente de consulta desde profesionales experimentados hasta aquellos que se adentran por primera vez en este campo, ofreciendo una guía práctica y sólida para enfrentar los retos actuales del mantenimiento industrial.

El objetivo de esta obra es inspirar y equipar a los lectores con herramientas innovadoras y efectivas para optimizar el mantenimiento de activos industriales, minimizando tiempos de inactividad y prolongando la vida útil de los equipos.

El Autor

UNIDAD I - ASPECTOS GENERALES DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.....	1
HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.....	2
ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO	7
MATRICES DE PLANIFICACIÓN	10
TIPOS Y NIVELES DE MANTENIMIENTO	14
UNIDAD II - FUNDAMENTOS DE LA PLANIFICACIÓN Y CONTROL DEL MANTENIMIENTO	16
PLANIFICACIÓN GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	17
FORMULACIÓN DE PLANES ESTRATÉGICOS	21
IMPLEMENTACIÓN DE PLANES OPERATIVOS.....	26
EVALUACIÓN Y CONTROL.....	29
UNIDAD III - POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, CORRECTIVO, PREDICTIVO	33
POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO.....	34
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	37
MANTENIMIENTO CORRECTIVO	42
MANTENIMIENTO PREDICTIVO	45
UNIDAD IV - GESTIÓN ECONÓMICA DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.....	48
DISTRIBUCIÓN DE COSTOS	49
SISTEMAS DE INFORMACIÓN CONTABLE.....	53
COSTOS DE MANTENIMIENTO INTEGRAL.....	57
EL COSTO DE CICLO DE VIDA	59
REFERENCIAS	63
SOBRE EL AUTOR	67

UNIDAD I
ASPECTOS GENERALES DEL MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL

HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El mantenimiento industrial es una disciplina fundamental en la gestión eficiente de activos y recursos en entornos productivos, su evolución se remonta a los inicios de la Revolución Industrial, marcando una transición significativa en la forma en que se mantenían y operaban las máquinas y equipos, para comprender sus orígenes y desarrollo (Cardona. et al., 2010), es esencial explorar su contexto histórico, sus fundamentos técnicos y las motivaciones que impulsaron su evolución hasta convertirse en una práctica indispensable en la industria moderna.

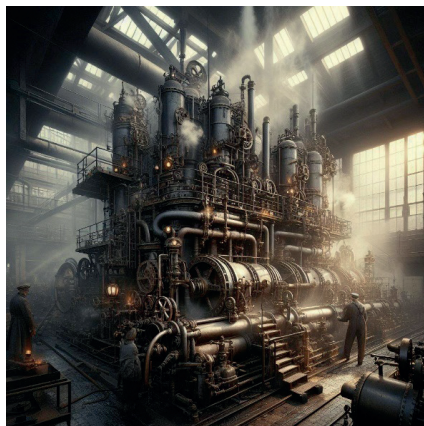
CONTEXTO HISTÓRICO

El surgimiento del mantenimiento industrial puede rastrearse hasta los albores de la Revolución Industrial en el siglo XVIII con la introducción de la maquinaria impulsada por vapor, como telares y máquinas de hilado, surgió la necesidad de mantener estas nuevas tecnologías en funcionamiento óptimo, en esta etapa temprana, este proceso se centraba en reparaciones correctivas para restaurar equipos averiados, con una atención limitada a la prevención de fallas.

Con el tiempo, especialmente hacia finales del siglo XIX y principios del XX, con la expansión de las industrias pesadas y de producción en masa, la importancia del mantenimiento preventivo comenzó a ser reconocida, la necesidad de maximizar la disponibilidad de las máquinas para impulsar la eficiencia y la productividad llevó al desarrollo de enfoques más sistemáticos (Carbajal & Chávez, 2009).

Figura 1

Representación de una industria con maquinaria a vapor en el siglo XIX



Nota: Esta figura representa una industria típica del siglo XIX donde su principal fuente de energía es el vapor, misma que fue generada mediante la IA Copilot Designer

EVOLUCIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE MANTENIMIENTO

Durante la primera mitad del siglo XX, las teorías de gestión de la calidad y la eficiencia comenzaron a influir en las estrategias de mantenimiento, destacados pioneros como Henri Fayol y Frederick Winslow Taylor promovieron la idea de la gestión científica y la optimización de los procesos industriales, sentando las bases para una visión más estructurada del mantenimiento (VELÁSQUEZ & SÁNCHEZ, 2006).

Una de las contribuciones más significativas fue el desarrollo del concepto de mantenimiento preventivo por parte de H.P. Gantt y otros ingenieros, este enfoque se basaba en la programación regular de inspecciones y trabajos de mantenimiento para prevenir averías y maximizar la vida útil de los equipos, estos principios fueron fundamentales para establecer las primeras prácticas modernas de mantenimiento industrial.

FUNDAMENTOS TÉCNICOS Y PRINCIPIOS

El mantenimiento industrial moderno se fundamenta en varios principios clave, uno de ellos es el concepto de mantenimiento proactivo en contraste con el mantenimiento reactivo, este enfoque implica la identificación temprana de problemas potenciales a través de técnicas como el análisis de riesgos, inspecciones regulares y monitoreo predictivo.

La evolución de la tecnología también ha jugado un papel crucial en el desarrollo del mantenimiento industrial, la introducción de herramientas avanzadas, como sistemas de gestión de activos computarizados (CMMS) y tecnologías de monitoreo remoto, ha permitido optimizar las estrategias de mantenimiento y mejorar la confiabilidad de los equipos.

MOTIVACIONES ACTUALES Y FUTURAS

En la actualidad, el mantenimiento industrial no solo se trata de maximizar la disponibilidad y la eficiencia, sino también de promover la sostenibilidad y la seguridad en los entornos industriales, las tendencias emergentes, como el mantenimiento basado en la condición y la implementación de IoT (Internet de las Cosas) en la monitorización de activos, están transformando aún más la práctica del mantenimiento (Emblemsvåg & Kjølstad, 2002).

Mirando hacia el futuro, el mantenimiento industrial continuará evolucionando a medida que la industria adopte tecnologías como el aprendizaje automático y la inteligencia artificial para predecir y prevenir fallos de manera aún más precisa, además, se espera que los enfoques centrados en la sostenibilidad impulsen la integración de prácticas de mantenimiento ecoeficientes y respetuosas con el medio ambiente.

Figura 2

Representación de una mirada al futuro de los procesos de Mantenimiento Industrial



Nota: Esta figura representa una mirada de evolución y perspectivas hacia el futuro del Mantenimiento Industrial, misma que fue generada mediante la IA Copilot Designer

PRIMERA GENERACIÓN DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El estudio de la historia y evolución del Mantenimiento Industrial permite comprender cómo esta disciplina ha evolucionado a lo largo del tiempo, en particular la Primera Generación marca un hito importante en el desarrollo de estrategias y enfoques para preservar la funcionalidad y fiabilidad de los equipos industriales.

CONTEXTO HISTÓRICO

La Primera Generación de Mantenimiento Industrial tuvo sus raíces en la era de la Revolución Industrial, que abarcó aproximadamente desde finales del siglo XVIII hasta mediados del siglo XIX, durante este período, la introducción de maquinaria impulsada por vapor transformó radicalmente los procesos de fabricación y producción en todo el mundo occidental.

Con la creciente dependencia de la maquinaria en las fábricas y plantas industriales, surgió la necesidad de mantener estos equipos en funcionamiento óptimo, sin embargo, el mantenimiento en esta etapa era principalmente reactivo y correctivo, las reparaciones se realizaban solo después de que los equipos fallaban, lo que resultaba en tiempos de inactividad significativos y pérdida de productividad (Okumus, 2003).

CARACTERÍSTICAS DE LA PRIMERA GENERACIÓN DE MANTENIMIENTO

- **Reparación Correctiva:** En la Primera Generación, el mantenimiento se centraba en reparar equipos solo después de que se producían averías, esta mentalidad llevó a altos costos de mantenimiento debido a reparaciones urgentes y tiempos de inactividad no planificados.
- **Falta de Planificación:** No se realizaban actividades de mantenimiento preventivo ni predictivo, la idea de programar inspecciones regulares o reemplazos preventivos de piezas aún no se había generalizado.
- **Enfoque en la Productividad:** La principal motivación detrás del mantenimiento en esta época era mantener la producción en marcha, las estrategias se centraban en minimizar el tiempo de inactividad y garantizar que las máquinas estuvieran disponibles para la producción, aunque esto se lograba principalmente a través de reparaciones rápidas después de fallas.
- **Conocimientos Básicos de Mantenimiento:** Los conocimientos técnicos y las habilidades de mantenimiento estaban limitados y se transmitían de manera informal entre los trabajadores y técnicos, no existían programas formales de formación en mantenimiento industrial.

INFLUENCIAS Y DESAFÍOS

Durante la Primera Generación de Mantenimiento Industrial, las influencias más significativas fueron la demanda creciente de eficiencia en la producción y la necesidad de maximizar la utilización de la maquinaria costosa, sin embargo, los enfoques reactivos no eran sostenibles a largo plazo y presentaban desafíos importantes:

- **Costos Elevados:** Los costos de mantenimiento eran impredecibles y podían representar una parte considerable de los gastos operativos totales.
- **Pérdida de Productividad:** Las frecuentes interrupciones debido a averías afectaban la productividad y la capacidad de cumplir con los plazos de producción.
- **Limitaciones Tecnológicas:** La falta de tecnologías modernas de monitoreo y diagnóstico limitaba la capacidad de anticipar y prevenir fallas.

SEGUNDA GENERACIÓN DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

La Segunda Generación de Mantenimiento Industrial se desarrolló a lo largo del siglo XX, especialmente después de la Segunda Guerra Mundial, cuando la industrialización y la producción en masa alcanzaron nuevos niveles de complejidad y escala, durante este período, las empresas enfrentaron desafíos cada vez mayores para mantener la fiabilidad de sus equipos y maximizar la eficiencia operativa la cual se caracterizaba de los siguientes parámetros:

- **Mantenimiento Preventivo:** Una característica clave de esta generación fue la adopción generalizada del mantenimiento preventivo, este enfoque implicaba realizar inspecciones y mantenimiento regularmente programados para identificar y corregir posibles problemas antes de que resultaran en fallas importantes, la implementación de calendarios de mantenimiento contribuyó a reducir las averías y a aumentar la vida útil de los equipos.
- **Desarrollo de Estrategias de Mantenimiento:** Durante esta época, se establecieron y refinaron diversas estrategias de mantenimiento, como el mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) y el mantenimiento centrado en la condición (CBM), estos enfoques se centraban en maximizar la disponibilidad de activos y en gestionar proactivamente los riesgos de fallos.
- **Tecnología Emergente:** La Segunda Generación vio la introducción de nuevas tecnologías en el campo del mantenimiento, por ejemplo, la instrumentación avanzada y los sistemas de monitoreo permitieron una supervisión más precisa de las condiciones de los equipos, facilitando la detección temprana de problemas y la toma de decisiones informadas.
- **Enfoque en la Fiabilidad:** Hubo un cambio significativo hacia la mejora de la confiabilidad operativa de los equipos, las organizaciones comenzaron a reconocer la importancia de mantener activos en condiciones óptimas para garantizar la calidad y consistencia de la producción.

INFLUENCIAS Y DESAFÍOS

Durante la Segunda Generación de Mantenimiento Industrial, hubo varias influencias y desafíos que contribuyeron a la evolución de las prácticas de mantenimiento:

- **Globalización y Competencia:** El aumento de la competencia global impulsó a las empresas a adoptar prácticas de mantenimiento más eficientes para mantenerse competitivas.
- **Avances Tecnológicos:** El desarrollo de tecnologías de automatización y control permitió la integración de sistemas de mantenimiento más avanzados y precisos.
- **Cambio en la Mentalidad:** Se produjo un cambio en la mentalidad hacia la gestión proactiva de activos, con un enfoque en la optimización de costos y la mejora continua.

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL HOY EN DÍA

Actualmente, el mantenimiento industrial es un conjunto de medidas técnicas y organizativas destinadas a mantener o restaurar un sistema a un estado en el que pueda realizar la función requerida, los objetivos del mantenimiento industrial incluyen conservar la capacidad de trabajo de las máquinas, reducir las paradas imprevistas, contribuir al aumento de la productividad y mantener en perfecto estado los medios de producción con un costo mínimo (Cárcel et al., 2013).

ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

La forma en que se organiza el departamento de mantenimiento tiene un impacto directo en la capacidad de una empresa para gestionar sus activos de manera efectiva, una estructura bien diseñada puede optimizar los recursos, mejorar la coordinación y comunicación interna, así como facilitar la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo (Backlund & Hannu, 2002).

MODELOS ESTRUCTURALES COMUNES

Existen varios modelos organizativos utilizados en la gestión del mantenimiento industrial, algunos de los modelos más comunes incluyen:

- **Centralizado:** En este modelo, todas las funciones de mantenimiento, incluyendo planificación, ejecución y control, son gestionadas por un departamento centralizado, este enfoque puede simplificar la coordinación y el control, pero a veces puede resultar en una menor capacidad de respuesta a las necesidades específicas de cada área operativa.
- **Descentralizado:** En un modelo descentralizado, las responsabilidades de mantenimiento se delegan a nivel de planta o unidad de negocio, cada unidad puede tener su propio equipo de mantenimiento dedicado, lo que permite una mayor adaptabilidad a las necesidades locales, pero puede resultar en duplicación de esfuerzos y falta de estandarización.
- **Matricial:** Este modelo combina elementos de centralización y descentralización, los equipos de mantenimiento pueden estar organizados funcionalmente (por tipo de habilidades o especialización) y también asignados a proyectos específicos o áreas de producción, la estructura matricial promueve la especialización y la colaboración interfuncional.

ROLES Y RESPONSABILIDADES

La estructura organizativa del mantenimiento define roles y responsabilidades claras para garantizar un funcionamiento eficiente del departamento, algunos roles comunes incluyen:

- **Director de Mantenimiento:** Encargado de la estrategia general del departamento y la coordinación con otras áreas de la empresa.
- **Supervisor de Mantenimiento:** Responsable de la supervisión diaria de las operaciones de mantenimiento, incluyendo asignación de tareas y gestión de equipos.
- **Técnicos de Mantenimiento:** Realizan las actividades de mantenimiento en el terreno, como inspecciones, reparaciones y análisis de fallos.

- **Planificador de Mantenimiento:** Encargado de la planificación y programación de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Los factores que influyen en la estructura organizacional incluyen la estrategia empresarial, la tecnología disponible, el entorno externo (competencia, regulaciones, economía), y la cultura organizacional, la estrategia determina la dirección y objetivos de la organización, generando un impacto relativo, hay que recalcar que la tecnología influye en los sistemas y herramientas utilizadas, varios factores determinan la estructura organizacional más adecuada para el departamento de mantenimiento:

- **Tamaño y Complejidad de la Operación:** Las grandes operaciones industriales suelen requerir estructuras más centralizadas para mantener la coordinación y control.
- **Tipo de Industria y Activos:** La naturaleza de la industria y los tipos de activos influyen en la especialización y habilidades requeridas dentro del equipo de mantenimiento.
- **Tecnología y Automatización:** Las empresas altamente tecnológicas pueden requerir equipos de mantenimiento altamente especializados y adaptados a sistemas complejos.
- **Cultura Organizacional:** La cultura de la empresa y su enfoque hacia el mantenimiento y la gestión de activos también impactan en la estructura organizativa.

DESAFÍOS Y CONSIDERACIONES

Diseñar y mantener una estructura organizacional efectiva para el mantenimiento puede presentar desafíos únicos:

- **Balance entre Costo y Eficiencia:** Encontrar el equilibrio adecuado entre la eficiencia operativa y la optimización de costos puede ser un desafío constante.
- **Gestión del Cambio:** Implementar cambios en la estructura organizacional puede requerir un enfoque cuidadoso para garantizar la aceptación y colaboración de los empleados.
- **Integración de Tecnología:** La adopción de nuevas tecnologías en el mantenimiento requiere una revisión continua de la estructura organizacional para maximizar sus beneficios.

IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO

La eficacia del mantenimiento industrial depende en gran medida de una planificación y programación adecuadas, estos procesos permiten a las organizaciones anticipar y gestionar de manera proactiva las actividades de mantenimiento, maximizando así la disponibilidad operativa de los equipos y prolongando su vida útil, al centrarse en la prevención de fallas y la optimización de recursos, la planificación y programación contribuyen directamente a la eficiencia y rentabilidad de las operaciones industriales, algunos conceptos clave son los siguientes:

- **Planificación del Mantenimiento:** La planificación del mantenimiento implica la anticipación de las actividades necesarias para mantener los equipos en condiciones óptimas de funcionamiento, este proceso comienza con la identificación de tareas de mantenimiento preventivo y predictivo basadas en el historial de activos, normativas y buenas prácticas, la planificación incluye también la estimación de recursos necesarios, como personal, materiales y herramientas.
- **Programación del Mantenimiento:** La programación del mantenimiento implica la asignación de recursos y la definición de fechas y horarios para la ejecución de las actividades planificadas, se deben considerar factores como la criticidad de los equipos, la disponibilidad de recursos y la minimización del impacto en la producción, la programación eficaz permite maximizar la eficiencia de los técnicos de mantenimiento y reducir los tiempos muertos.

HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS

Las herramientas tecnológicas para la planificación y programación del mantenimiento ofrecen soluciones avanzadas que optimizan la gestión de activos, estos sistemas permiten programar actividades, gestionar inventarios de repuestos y registrar historiales de activos, el uso de sensores IoT proporciona datos en tiempo real sobre el estado de los equipos, facilitando la detección temprana de fallas; estas herramientas tecnológicas mejoran la eficacia operativa y prolongan la vida útil de los activos industriales.

- **Sistemas de Gestión de Activos (EAM):** Permiten la gestión centralizada de datos de activos, programación de tareas y seguimiento de indicadores clave de desempeño.
- **Software de Planificación de Recursos Empresariales (ERP):** Integra la gestión de mantenimiento con otros procesos empresariales, como la gestión de inventarios y la gestión financiera.
- **Software de Mantenimiento Asistido por Computadora (CMMS):** Facilita la planificación, programación y seguimiento de las actividades de mantenimiento de manera eficiente.

MATRICES DE PLANIFICACIÓN

Las matrices de planificación ofrecen una forma sistemática de organizar datos y tomar decisiones informadas, permiten identificar relaciones entre variables, asignar recursos de manera eficiente y mejorar la coordinación entre equipos y procesos, en el ámbito del mantenimiento, las matrices de planificación son esenciales para optimizar la gestión de activos y maximizar la disponibilidad operativa (Tchankova, 2002).

MATRIZ DE PRIORIZACIÓN

Una matriz de priorización es utilizada para clasificar tareas o actividades en función de su importancia relativa, se basa en criterios específicos, como impacto en la producción, riesgo de falla o costo asociado las tareas se categorizan en función de su urgencia y prioridad, lo que facilita la asignación de recursos y la toma de decisiones.

Figura 3

Modelo de una matriz de priorización

	MAGNITUD ¿Cuántos miembros son afectados por el problema?	GRAVEDAD ¿Cuánto daño ocasiona?	CAPACIDAD ¿Qué posibilidades de solución tenemos?	BENEFICIO ¿Cuánto nos beneficia su solución?
CRITERIOS	TIENE QUE VER CON LA CANTIDAD DE PERSONAS AFECTADAS POR EL PROBLEMA.	REGISTRA LA INTENSIDAD DEL DAÑO QUE OCASIONA EL PROBLEMA	CAPACIDAD DE INTERVENCIÓN INDICA LA POSIBILIDAD DE DAR LA SOLUCIÓN AL PROBLEMA	INDICA EL NIVEL DE PROVECHO O UTILIDAD QUE APORTA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA
Problema 1 Deficiente prestación de servicio de agua	Hasta el 100%	Grave	Muy alta	Beneficio Alto
Problema 2 Vías internas sin asfaltado	Hasta el 45%	Nada grave	Baja	Beneficio Bajo
Problema 3 Inexistencia del servicio de desagüe	Hasta el 100%	Medianamente grave	Mediana	Beneficio Medio

Nota: Esta figura representa un ejemplo de una matriz de priorización, misma que fue elaborada por el autor, 2024

MATRIZ DE RESPONSABILIDAD (RACI)

La matriz RACI es una herramienta utilizada para definir roles y responsabilidades dentro de un proyecto o proceso, cada tarea o actividad se asigna a uno de los siguientes roles: Responsable (quien realiza la tarea), Aprobador (quien aprueba los resultados), Consultado (quien proporciona información) o Informado (quien recibe actualizaciones).

Figura 4

Modelo de una matriz de responsabilidad RACI

		ROLES			
		Patrocinador	Director del Proyecto	Interesados muy influyentes	Interesados poco influyentes
TAREAS	Acta de Constitución del Proyecto	A	R		
	Identificar los interesados	A	R		
	Plan del Proyecto	A	R	C	I
	Planificación	A	R	C	I

laboratoriot.com	
R	Responsable
A	Aprobador
C	Consultado
I	Informado

Nota: Esta figura representa un ejemplo de una matriz de responsabilidad RACI, misma que fue elaborada por el autor, 2024

MATRIZ DE PROGRAMACIÓN (GANTT)

La matriz de programación, también conocida como diagrama de Gantt, es una representación visual de un plan de trabajo a lo largo del tiempo, muestra las tareas como barras horizontales en un eje temporal, permitiendo ver la duración y superposición de actividades, esta se convierte en un esquema útil para programar y monitorear el progreso de las tareas de mantenimiento.

Figura 5

Modelo de una matriz de programación Gantt

Actividades	Meses											
	Junio				Julio				Agosto			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Programar jornadas de alfabetización tecnológica a usuarios.	█	█										
Verificar el estado de los equipos informáticos.		█	█									
Gestionar recursos para el mantenimiento y reparación de las P.C.				█								
Realizar mantenimiento a las P.C.					█	█	█					
Facilitar talleres a usuarios tecnológicos de la Institución.									█	█	█	
Jornada de cierre de proyecto en la Institución.												█

Nota: Esta figura representa un ejemplo de una matriz de programación Gantt, misma que fue elaborada por el autor, 2024

MATRIZ DE RIESGOS

Una matriz de riesgos ayuda a identificar y evaluar riesgos asociados con actividades de mantenimiento, las actividades se clasifican en función de la probabilidad de ocurrencia y el impacto potencial, esto permite priorizar la mitigación de riesgos y desarrollar estrategias de contingencia.

Figura 6

Modelo de una matriz de Riesgos

		Impacto				
		Mínimo	Moderado	Serio	Elevado	Grave
Probabilidad		1	2	3	4	5
Frecuente	5	5	10	15	20	25
Recurrente	4	4	8	12	16	20
Posible	3	3	6	9	12	15
Inusual	2	2	4	6	8	10
Remota	1	1	2	3	4	5

Nota: Esta figura representa un ejemplo de una matriz de riesgos, misma que fue elaborada por el autor, 2024

APLICACIONES EN EL MANTENIMIENTO Y LA GESTIÓN DE ACTIVOS

Las matrices de planificación son herramientas esenciales en diversos ámbitos, desde la gestión de proyectos hasta el mantenimiento industrial, estas ayudan a organizar y priorizar tareas, identificar riesgos, así como optimizar recursos, por otra parte, al utilizar criterios específicos, como importancia, urgencia o probabilidad de riesgo, estas permiten una clasificación clara y ordenada de las actividades, por su versatilidad tienen numerosas aplicaciones en el contexto:

- **Programación de Mantenimiento:** Las matrices de programación, como los diagramas de Gantt, permiten visualizar y coordinar actividades de mantenimiento preventivo y correctivo.
- **Asignación de Recursos:** Las matrices de priorización ayudan a asignar recursos limitados, como mano de obra y materiales, a las tareas más críticas y urgentes.
- **Gestión de Roles y Responsabilidades:** La matriz RACI clarifica quién es responsable de qué actividad dentro del equipo de mantenimiento, mejorando la eficiencia y la comunicación.
- **Análisis de Riesgos:** Las matrices de riesgos permiten identificar y abordar proactivamente posibles amenazas a la seguridad o la integridad de los activos.

CONSIDERACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN

Para implementar matrices de planificación de manera efectiva, es crucial considerar varios aspectos como el de definir claramente los criterios de evaluación y priorización que serán utilizados, esto asegura consistencia y objetividad en el proceso de clasificación, posterior, involucrar a todas las partes interesadas relevantes para obtener diferentes perspectivas y asegurar el apoyo necesario (Cabrera et al., 2017), luego proporcionar capacitación adecuada a los usuarios sobre cómo utilizar y entender la matriz correctamente y por último establecer un sistema de seguimiento y revisión regular para actualizar y ajustar la matriz según sea necesario, para lo cual para la implementación es importante considerar lo siguiente:

- **Claridad y Consistencia:** Definir criterios claros y consistentes para la clasificación y priorización de tareas.
- **Capacitación y Comunicación:** Asegurar que todos los miembros del equipo comprendan y puedan utilizar las matrices de manera efectiva.
- **Actualización Continua:** Mantener las matrices actualizadas para reflejar cambios en las condiciones operativas y las prioridades del negocio.

TIPOS Y NIVELES DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento industrial desempeña un papel fundamental en el funcionamiento eficiente y seguro de las instalaciones industriales, contribuye a minimizar los tiempos de inactividad no planificados, reducir los costos de reparación y sustitución de equipos, mejorar la seguridad laboral y prolongar la vida útil de los activos, la selección del tipo adecuado de mantenimiento es crucial para optimizar la disponibilidad operativa y garantizar la calidad y consistencia en la producción (Lázaro et al., 2011).

TIPOS DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El mantenimiento industrial comprende diversos tipos que aseguran la fiabilidad de los equipos, este se basa en condiciones de tal forma que monitorea el estado de los mecanismos en tiempo real, utilizando sensores y tecnología para detectar desviaciones y tomar acciones antes de que surjan problemas, este enfoque permite intervenciones proactivas para prevenir fallas y optimizar el rendimiento.

Mantenimiento Correctivo (Reparativo): El mantenimiento correctivo implica realizar reparaciones o intervenciones en un equipo solo cuando ha fallado o se ha producido una avería, este tipo es reactivo y no planificado, generalmente se utiliza cuando el costo de la inactividad es menor que el costo de implementar un mantenimiento preventivo o predictivo, sin embargo, este puede resultar costoso debido a interrupciones en la producción y posibles daños adicionales al equipo.

Mantenimiento Preventivo: El mantenimiento preventivo implica realizar actividades planificadas de forma regular para evitar fallos inesperados, estas diligencias pueden incluir inspecciones, lubricación, ajustes y reemplazo de piezas según un calendario establecido, el mantenimiento preventivo ayuda a identificar y corregir problemas potenciales antes de que causen una falla mayor, lo que reduce los tiempos de inactividad y prolonga la vida útil del equipo.

Mantenimiento Predictivo: El mantenimiento predictivo utiliza técnicas de monitoreo continuo para evaluar el estado de los equipos y predecir cuándo es probable que ocurra una falla, esto se logra mediante la recolección y análisis de datos de parámetros como vibración, temperatura, presión u otros indicadores clave de rendimiento, el mantenimiento predictivo permite realizar intervenciones solo cuando es necesario, maximizando así la disponibilidad operativa y minimizando los costos asociados con el mantenimiento.

Mantenimiento Detectivo: El mantenimiento detectivo se centra en la detección temprana de fallos incipientes a través de la inspección regular o el monitoreo de parámetros críticos, aunque puede parecer similar al mantenimiento preventivo este se enfoca específicamente en identificar anomalías que podrían indicar un problema en desarrollo, permitiendo intervenciones antes de que se produzca una falla (Superior et al., 2007).

Mantenimiento Proactivo: El mantenimiento proactivo va más allá de la detección y reparación de fallas, y busca identificar las causas subyacentes de los problemas para eliminarlas antes de que afecten el rendimiento del equipo aplicando un enfoque sistemático para mejorar la confiabilidad y eficiencia de los activos, a través de la optimización de procesos y la implementación de mejoras continuas.

SELECCIÓN DEL TIPO DE MANTENIMIENTO

La elección del tipo de mantenimiento adecuado depende de varios factores, incluyendo:

- **Criticidad del Equipo:** La importancia del equipo para las operaciones y la producción determina la necesidad de un mantenimiento más preventivo o predictivo.
- **Costo de la Falla:** Evaluar los costos asociados con la inactividad y reparación del equipo para determinar la estrategia más rentable.
- **Tecnología Disponible:** La disponibilidad de tecnologías de monitoreo y diagnóstico influye en la viabilidad del mantenimiento predictivo o proactivo.
- **Normativas y Estándares:** Cumplimiento con normativas y estándares de seguridad y calidad que requieran ciertas prácticas de mantenimiento.

UNIDAD II
FUNDAMENTOS DE LA PLANIFICACIÓN Y CONTROL
DEL MANTENIMIENTO

PLANIFICACIÓN GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

La planificación y gestión del mantenimiento son procesos esenciales en entornos industriales para garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los activos, optimizando así la eficiencia operativa y minimizando los tiempos de inactividad no planificados.

IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

La planificación y gestión del mantenimiento es fundamental para el funcionamiento seguro y eficiente de las instalaciones industriales, estos procesos permiten anticipar y programar actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de manera sistemática minimizando así las interrupciones no planificadas en la producción y prolongando la vida útil de los equipos (Mauricio et al., 2024).

CONCEPTOS CLAVE EN LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

La planificación y gestión del mantenimiento industrial involucra varios conceptos clave que son fundamentales para asegurar la confiabilidad y eficiencia de los activos, uno de estos conceptos es la planificación estratégica, que implica establecer objetivos claros y alinear las actividades con la estrategia general de la organización.

La gestión de activos es otro aspecto crucial, que se centra en optimizar el rendimiento de los activos a lo largo de su ciclo de vida, la planificación de mantenimiento preventivo es esencial para realizar inspecciones y tareas planificadas que previenen fallas, la gestión de repuestos y consumibles garantiza la disponibilidad oportuna de piezas críticas (Serrano et al., 2019). Además, la gestión de datos y tecnología, como los sistemas CMMS, facilita la programación y seguimiento de actividades de mantenimiento. Estos conceptos permiten una gestión efectiva del mantenimiento para maximizar la productividad y prolongar la vida útil de los activos industriales.

- **Planificación del Mantenimiento:** La planificación del mantenimiento implica la identificación y programación de actividades necesarias para mantener los equipos en óptimas condiciones de operación, esto incluye la elaboración de cronogramas, la asignación de recursos y la definición de procedimientos para llevar a cabo las tareas planificadas de manera eficiente.
- **Gestión de Activos:** La gestión de activos se refiere al conjunto de procesos utilizados para optimizar el rendimiento, la disponibilidad y la vida útil de los activos industriales, incluye la evaluación de riesgos, la implementación de estrategias de mantenimiento y la toma de decisiones informadas sobre inversiones en activos.
- **Mantenimiento Preventivo y Predictivo:** El mantenimiento preventivo implica la realización de actividades planificadas para prevenir fallos y minimizar el deterioro de los equipos, este utiliza técnicas de monitoreo para prever fallos potenciales, permitiendo intervenciones precisas y oportunas.

ENFOQUES ESTRATÉGICOS EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

Los enfoques estratégicos en la gestión del mantenimiento son fundamentales para optimizar la eficiencia y la confiabilidad de los activos industriales, integrando objetivos de mantenimiento con la estrategia general de la organización basándose en identificar y abordar las causas subyacentes de los problemas de los equipos (Hernández et al., 2023).

- **Mantenimiento Basado en la Condición (CBM):** El CBM se centra en monitorear continuamente el estado de los equipos utilizando tecnologías como análisis de vibraciones, termografía y análisis de aceites, esta técnica permite realizar mantenimiento solo cuando es necesario, maximizando así la disponibilidad operativa y minimizando los costos.

Figura 7

Representación de un proceso de diagnóstico mediante la técnica de análisis de vibraciones



Nota: Esta figura representa un proceso de diagnóstico mediante la técnica de análisis de vibraciones en donde intervienen dos técnicos de Mantenimiento Industrial, misma que fue generada mediante la IA Copilot Designer

- **Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM):** El RCM se basa en identificar las funciones críticas de los equipos, evaluar los modos de falla potenciales y desarrollar estrategias de mantenimiento para mitigar los riesgos asociados, este enfoque prioriza la confiabilidad y seguridad de los activos.

HERRAMIENTAS Y TECNOLOGÍAS PARA LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

Las herramientas y tecnologías para la planificación y gestión del mantenimiento son fundamentales en la optimización de la eficiencia y confiabilidad de los activos industriales, los sistemas computarizados permiten hoy en día programar actividades, así como el seguimiento del rendimiento, la monitorización remota mediante sensores proporciona datos en tiempo real sobre el estado de los equipos, propiciando el uso de estrategias de mantenimiento.

- **Software de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora (CMMS):** Los CMMS permiten gestionar y programar tareas de mantenimiento, mantener registros de historiales de mantenimiento, gestionar inventarios de repuestos y analizar datos de rendimiento de activos.
- **Sistemas de Monitoreo Continuo (IoT):** La Internet de las Cosas (IoT) facilita el monitoreo remoto y continuo de equipos, permitiendo la detección temprana de anomalías y el análisis predictivo de fallos.

Figura 8

Representación de un técnico realizando un monitoreo continuo de equipos



Nota: Esta figura representa a un técnico realizando un monitoreo continuo de equipos en una industria, misma que fue generada mediante la IA Copilot Designer

- **Técnicas de Análisis de Datos:** El uso de análisis de datos avanzados, como el aprendizaje automático y la inteligencia artificial, permite identificar patrones y tendencias en el rendimiento de los activos, mejorando así las estrategias de mantenimiento.

PROCESOS EN LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

Los procesos en la planificación y gestión del mantenimiento son fundamentales para asegurar la confiabilidad y eficiencia de los activos industriales, esto implica establecer objetivos claros y alinear las actividades con la estrategia empresarial, estos procesos aseguran una gestión efectiva del mantenimiento para maximizar la productividad y prolongar la vida útil de los activos (Hernández et al., 2022).

- **Identificación de Activos Críticos:** Identificar los activos críticos para el proceso productivo y priorizar la asignación de recursos de mantenimiento en función de su importancia.
- **Elaboración de Programas de Mantenimiento:** Desarrollar programas de mantenimiento preventivo y predictivo basados en las características y requisitos específicos de cada equipo.
- **Seguimiento y Mejora Continua:** Realizar seguimiento del desempeño de las actividades de mantenimiento, analizar los resultados y aplicar mejoras continuas en los procesos.

FORMULACIÓN DE PLANES ESTRATÉGICOS

La formulación de planes estratégicos es un proceso fundamental en la gestión del mantenimiento que permite establecer objetivos, definir estrategias y asignar recursos para alcanzar metas a largo plazo.

IMPORTANCIA DE LA FORMULACIÓN DE PLANES ESTRATÉGICOS

La formulación de planes estratégicos es esencial para orientar el rumbo de una organización y asegurar su éxito futuro, este permite a las empresas adaptarse a entornos cambiantes, identificar oportunidades de crecimiento y minimizar riesgos, un plan estratégico bien diseñado proporciona un marco sólido para la toma de decisiones, alinea a toda la organización hacia objetivos comunes y mejora la eficiencia en el uso de recursos.

COMPONENTES CLAVE DE UN PLAN ESTRATÉGICO

Los componentes clave de un plan estratégico son fundamentales para guiar el rumbo y el éxito de una organización, estos están compuestos generalmente por la declaración de la misión y visión que establece los propósitos y valores fundamentales, los objetivos claros y medibles proporcionan metas específicas a alcanzar, las estrategias delimitan cómo se lograrán esos objetivos.

- **Análisis de la Situación Actual:** El primer paso en la formulación de un plan estratégico es realizar un análisis exhaustivo del entorno interno y externo de la organización, esto implica evaluar fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas (análisis FODA), así como comprender las tendencias del mercado, la competencia y los cambios regulatorios.
- **Definición de la Visión y Misión:** La visión establece la dirección futura deseada de la organización, mientras que la misión define su propósito fundamental y sus valores, estas declaraciones proporcionan un marco inspirador y orientador para el desarrollo del plan estratégico.
- **Establecimiento de Objetivos:** Los objetivos estratégicos son metas específicas y medibles que la organización busca alcanzar en el largo plazo, deben ser coherentes con la visión y misión de la empresa y estar alineados con su contexto competitivo.
- **Desarrollo de Estrategias:** Las estrategias son los enfoques y acciones que la organización utilizará para lograr sus objetivos estratégicos, pueden incluir estrategias de crecimiento, expansión geográfica, innovación, eficiencia operativa, entre otras.
- **Asignación de Recursos:** La asignación adecuada de recursos, como presupuesto, talento humano y tecnología, es crucial para implementar las estrategias definidas en el plan estratégico.

PASOS FUNDAMENTALES EN LA FORMULACIÓN DE PLANES ESTRATÉGICOS

Los pasos fundamentales en la formulación de planes estratégicos son esenciales para establecer una dirección clara y efectiva para una organización, la implementación de este tipo de planes se realiza a través de acciones detalladas, seguidos de evaluaciones regulares para monitorear el progreso y ajustar según sea necesario como una técnica de mejora continua.

- **Investigación y Análisis:** Recopilar información relevante sobre el entorno empresarial, incluyendo datos financieros, análisis de mercado y evaluación de capacidades internas.
- **Definición de Objetivos:** Establecer objetivos claros, alcanzables y alineados con la visión y misión de la organización.
- **Identificación de Estrategias:** Desarrollar estrategias específicas para alcanzar los objetivos, considerando las fortalezas y oportunidades de la organización.
- **Planificación de Acciones:** Definir acciones concretas y tiempos de implementación para cada estrategia, asignando responsabilidades claras.
- **Seguimiento y Evaluación:** Establecer indicadores de desempeño para monitorear el progreso y realizar ajustes según sea necesario para mantener la relevancia del plan estratégico.

HERRAMIENTAS Y MÉTODOS PARA LA FORMULACIÓN DE PLANES ESTRATÉGICOS

Las herramientas y métodos para la formulación de planes estratégicos en el mantenimiento industrial se utiliza para establecer objetivos claros y desarrollar estrategias efectivas, estas herramientas y métodos ayudan a las organizaciones a adaptarse al entorno cambiante y lograr el éxito.

Análisis FODA (SWOT): El análisis FODA (también conocido como análisis SWOT) es una herramienta fundamental en la formulación estratégica, este análisis evalúa las fortalezas (Strengths) y debilidades (Weaknesses) internas de una organización, junto con las oportunidades (Opportunities) y amenazas (Threats) externas del entorno, las fortalezas y debilidades representan las capacidades y limitaciones internas, mientras que las oportunidades y amenazas son factores externos que pueden afectar el desempeño.

El análisis FODA proporciona información valiosa para desarrollar estrategias que capitalicen las fortalezas, mitiguen las debilidades, aprovechen las oportunidades y mitiguen las amenazas, fortaleciendo así la posición competitiva de la organización.

Figura 9

Modelo de una matriz de Análisis FODA (SWOT)



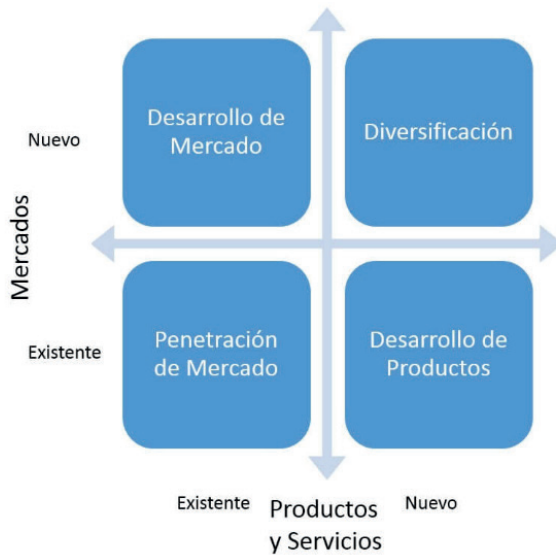
Nota: Esta figura representa un ejemplo de una matriz de Análisis FODA (SWOT), misma que fue elaborada por el autor, 2024

Matriz de Ansoff: La matriz de Ansoff es una herramienta estratégica utilizada para identificar y evaluar opciones de crecimiento empresarial, esta fue desarrollada por Igor Ansoff, esta matriz presenta cuatro estrategias de crecimiento: penetración de mercado, desarrollo de productos, desarrollo de mercado y diversificación.

La penetración de mercado implica aumentar las ventas de productos existentes en mercados históricos, el desarrollo de productos consiste en crear nuevos productos para mercados existentes, el desarrollo de mercado implica ingresar a nuevos mercados con productos existentes. La diversificación implica lanzar nuevos productos en nuevos mercados, esta matriz ayuda a las empresas a evaluar y seleccionar estrategias de crecimiento adecuadas.

Figura 10

Modelo de una matriz de Ansoff



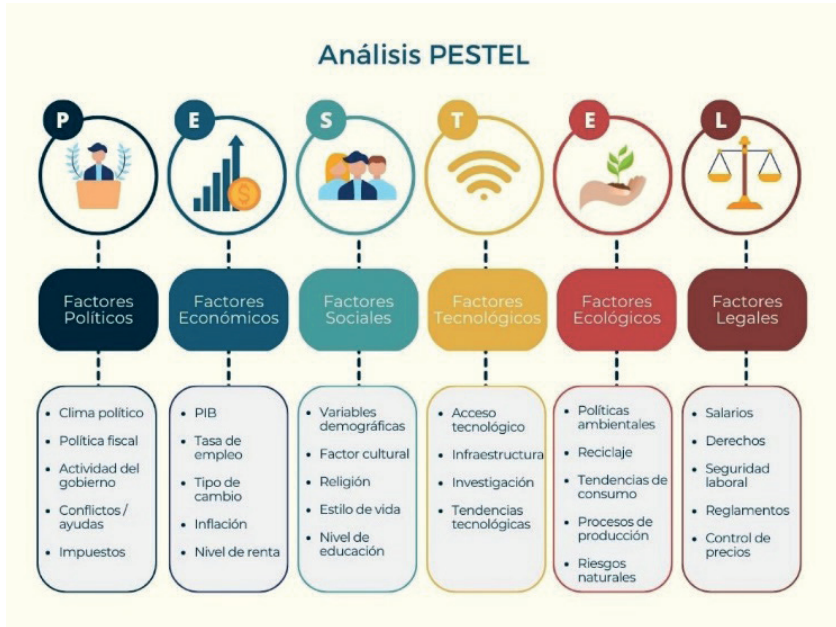
Nota: Esta figura representa un ejemplo de una Matriz de Ansoff, misma que fue elaborada por el autor, 2024

Análisis PESTEL: El análisis PESTEL es una herramienta estratégica utilizada para evaluar factores externos que pueden afectar a una organización, esta representa los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales que pueden influir en el entorno organizacional.

Este análisis proporciona una visión integral de las fuerzas externas que pueden impactar en las operaciones y estrategias de una empresa, los factores políticos incluyen regulaciones y políticas gubernamentales, en cambio los factores económicos abarcan tasas de interés, inflación y condiciones económicas, los factores sociales consideran tendencias demográficas y culturales, los factores tecnológicos evalúan avances tecnológicos y por último los factores ambientales y legales abordan cuestiones ambientales y jurídicas.

Figura 11

Representación gráfica de un Análisis PESTEL



Nota: Esta figura representa una gráfica de los componentes de un Análisis PESTEL, misma que fue elaborada por el autor, 2024

IMPLEMENTACIÓN DE PLANES OPERATIVOS

La implementación de planes operativos en mantenimiento industrial es esencial para maximizar la eficiencia de los procesos productivos, minimizar los tiempos de inactividad y prolongar la vida útil de los equipos. permite traducir las estrategias de mantenimiento planificadas en acciones concretas y medibles, asegurando que se cumplan los objetivos y metas establecidos en el plan estratégico de mantenimiento, una implementación efectiva garantiza una gestión proactiva de activos y contribuye a la optimización de recursos.

CONCEPTOS CLAVE EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PLANES OPERATIVOS

Los conceptos clave en la implementación de planes operativos son fundamentales para llevar a cabo eficazmente las estrategias de gestión, esto incluyen la claridad en los objetivos, la asignación adecuada de recursos, la comunicación efectiva y el monitoreo continuo del progreso; estos conceptos son clave para la implementación exitosa.

- **Alcance y Objetivos Claros:** Antes de iniciar la implementación, es fundamental tener claridad sobre el alcance del plan operativo y los objetivos específicos que se pretenden lograr, esto incluye definir las actividades, cronogramas, recursos y responsabilidades involucradas en la ejecución del plan.
- **Asignación de Recursos:** La asignación adecuada de recursos es crucial para el éxito de la implementación, lo que implica asegurar disponibilidad de personal calificado, herramientas, repuestos y equipos necesarios para llevar a cabo las actividades de mantenimiento de manera efectiva.
- **Planificación Detallada:** Elaborar un plan detallado que especifique las actividades a realizar, los procedimientos a seguir y los criterios de medición del desempeño, la planificación detallada facilita el seguimiento y control de las acciones durante la implementación.
- **Comunicación y Coordinación:** Establecer canales de comunicación efectivos y promover la colaboración entre los equipos de mantenimiento, producción y gestión para garantizar la alineación y el cumplimiento de objetivos comunes.

ETAPAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PLANES OPERATIVOS

La implementación efectiva de planes operativos es crucial para convertir las estrategias en acciones concretas y lograr objetivos organizativos, este proceso implica traducir planes estratégicos en metas operativas específicas y alcanzables, requiere asignar recursos adecuados y desarrollar planes detallados para cada área funcional, adicional la comunicación clara de roles y responsabilidades es esencial para alinear a los equipos hacia objetivos comunes (Científica & Ingeniar, 2022).

Figura 12

Ciclo de implementación de planes operativos



Nota: Esta figura representa un Ciclo de implementación de planes operativos, misma que fue elaborada por el autor, 2024

- **Preparación y Capacitación:** Preparar al personal involucrado en la implementación, proporcionando la capacitación necesaria sobre los objetivos, actividades y procedimientos del plan operativo.
- **Ejecución de Actividades:** Llevar a cabo las actividades planificadas según el cronograma establecido, asegurando el cumplimiento de estándares de calidad y seguridad.
- **Monitoreo y Seguimiento:** Supervisar continuamente el progreso de las actividades, evaluando el desempeño y realizando ajustes según sea necesario para alcanzar los objetivos establecidos.
- **Análisis de Resultados:** Analizar los resultados obtenidos durante la implementación para identificar áreas de mejora, lecciones aprendidas y oportunidades de optimización.

HERRAMIENTAS Y TECNOLOGÍAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN

Las herramientas y tecnologías juegan un papel fundamental en la implementación efectiva de planes operativos en las organizaciones modernas, los sistemas de gestión de proporcionan una plataforma centralizada para planificar, organizar y monitorear las actividades operativas, además, el uso de software de colaboración facilita la comunicación y la colaboración entre los miembros del equipo (Laguna et al., 2024).

- **CMMS (Computerized Maintenance Management System):** Utilizar sistemas CMMS para planificar, programar y monitorear las actividades de mantenimiento, gestionar el inventario de repuestos y generar informes de desempeño.

- **IoT (Internet of Things):** Implementar sensores y dispositivos IoT para monitorear el estado de los equipos en tiempo real, permitiendo una detección temprana de fallos y optimización de mantenimiento.
- **Planificación y Programación Avanzada:** Utilizar herramientas de planificación avanzada para optimizar la asignación de recursos y mejorar la eficiencia en la ejecución de actividades de mantenimiento.

EVALUACIÓN Y CONTROL

La evaluación y el control en mantenimiento industrial son esenciales para medir el rendimiento de las estrategias y actividades implementadas, asegurando así el cumplimiento de estándares de calidad, seguridad y eficiencia, permiten identificar desviaciones, analizar causas subyacentes y tomar acciones correctivas oportunas para optimizar la gestión de activos, una evaluación y control efectivos contribuyen a mejorar la confiabilidad operativa, reducir costos y prolongar la vida útil de los equipos industriales (Vera-Zambrano & Torres-Rodríguez, 2021).

CONCEPTOS CLAVE EN EVALUACIÓN Y CONTROL

Los conceptos clave en evaluación y control son fundamentales para asegurar el logro de objetivos y el éxito organizacional, estos proporciona información sobre el progreso hacia los objetivos estratégicos, por otra parte, el control implica tomar acciones correctivas o preventivas según los resultados de la evaluación, asegurando que la organización se mantenga en el rumbo correcto, la retroalimentación continua y la capacidad de ajustar estrategias son esenciales para adaptarse a cambios en el entorno y mejorar el rendimiento de manera proactiva.

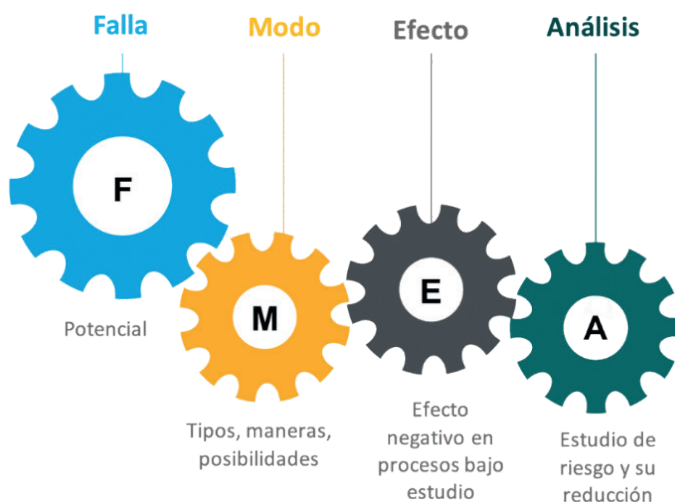
- **Indicadores Clave de Desempeño (KPIs):** Los KPIs son medidas cuantificables utilizadas para evaluar el rendimiento en mantenimiento industrial, pueden incluir indicadores de disponibilidad de equipos, tiempos de inactividad, costos de mantenimiento, cumplimiento de programas preventivos, entre otros.
- **Auditorías y Revisiones:** Realizar auditorías periódicas para evaluar la conformidad con normas, procedimientos y mejores prácticas de mantenimiento, las revisiones sistemáticas permiten identificar oportunidades de mejora y mitigar riesgos.
- **Análisis de Fallas y Causa Raíz:** Investigar y analizar las fallas para identificar las causas subyacentes y evitar su recurrencia, el análisis de causa raíz (RCA) permite abordar problemas fundamentales y tomar acciones correctivas efectivas.

MÉTODOS DE EVALUACIÓN EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El mantenimiento industrial es un aspecto crítico para garantizar la operatividad, confiabilidad y eficiencia de los activos en las industrias, evaluar adecuadamente las estrategias de mantenimiento es fundamental para optimizar el rendimiento y minimizar costos, en la actualidad existen varios métodos de evaluación utilizados en el mantenimiento industrial, cada uno con sus enfoques y beneficios específicos.

Uno de los métodos más utilizados en la evaluación del mantenimiento industrial es el Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMFE), el cual es un método sistemático que identifica posibles modos de falla en equipos o procesos, así como sus efectos potenciales en la producción y la seguridad, este prioriza los modos de falla según su impacto y probabilidad, lo que permite asignar recursos de manera efectiva para mitigar riesgos y prevenir problemas antes de que ocurran (Gao et al., 2023).

Figura 13
Componentes del Análisis de Modos de Falla y Efectos



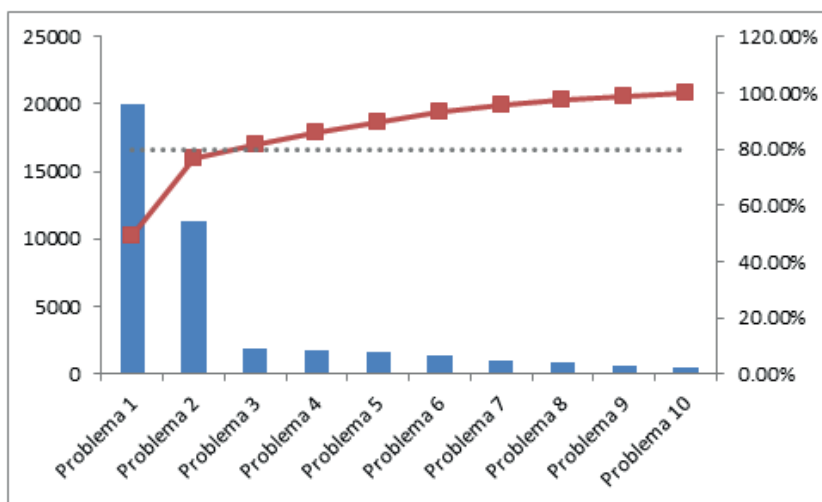
Nota: Esta figura se plasman los componentes del análisis de Modos de Falla y Efectos, misma que fue elaborada por el autor, 2024

Otro método importante es el Índice de Disponibilidad (IDA), que evalúa la eficiencia y confiabilidad de los activos en términos de tiempo de funcionamiento versus tiempo total disponible, este proporciona una medida cuantitativa del rendimiento del equipo, lo que permite identificar áreas de mejora y justificar inversiones en mantenimiento preventivo o correctivo.

Además, el Costo Total de Propiedad (CTP) es un método integral que evalúa todos los costos asociados con la propiedad y operación de un activo a lo largo de su vida útil, esto incluye coste de adquisición, mantenimiento, reparación, consumo de energía y pérdida de producción debido a paradas no planificadas permitiendo tomar decisiones informadas sobre la gestión de activos, priorizando la inversión en mantenimiento preventivo para minimizar los costos totales a lo largo del tiempo (Carlos Hernández & Díaz Jiménez, 2018).

El Análisis de Pareto es una herramienta valiosa en la evaluación del mantenimiento industrial, este identifica y prioriza los problemas o modos de falla más frecuentes que contribuyen significativamente a los problemas operativos al identificar el 20% de los problemas que causan el 80% de los impactos negativos permitiendo focalizar recursos en las áreas críticas para maximizar el rendimiento y la disponibilidad de los activos.

Figura 14
Ejemplo de un diagrama de Pareto



Nota: Esta figura representa un diagrama de Pareto utilizado comúnmente en la industria, misma que fue elaborada por el autor, 2024

Además de estos métodos, la evaluación del mantenimiento industrial también se beneficia del uso de sistemas de gestión asistido por computadora (CMMS) los cuales recopilan datos sobre el desempeño y el estado de los activos, facilitando la monitorización en tiempo real y el análisis histórico para identificar tendencias y patrones, esta información es fundamental para la toma de decisiones basadas en datos y la mejora continua de las estrategias de mantenimiento.

PROCESOS DE EVALUACIÓN Y CONTROL EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El mantenimiento industrial desempeña un papel crítico en la operación eficiente y segura de las instalaciones industriales para garantizar la efectividad y la optimización de las estrategias de mantenimiento, es fundamental implementar procesos sólidos de evaluación y control.

Uno de los procesos fundamentales en el mantenimiento industrial es la evaluación del desempeño de los activos misma que implica medir la eficiencia, confiabilidad y disponibilidad de los equipos a lo largo del tiempo, los indicadores clave de rendimiento (KPIs) se utilizan para cuantificar el desempeño y establecer metas de mejora (Kim et al., 2023). Por ejemplo, el tiempo medio entre fallos (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR) son métricas comunes utilizadas para evaluar la confiabilidad y la capacidad de respuesta del mantenimiento.

Los sistemas de gestión de mantenimiento asistido por computadora (CMMS) recopilan datos sobre el desempeño de los activos y las actividades de mantenimiento, estos datos se utilizan para identificar patrones, tendencias y anomalías que pueden indicar problemas potenciales o áreas de mejora, el análisis de datos permite tomar decisiones basadas en evidencia y optimizar las estrategias de mantenimiento para maximizar la eficiencia y reducir los costos operativos.

El control de calidad es esencial en el mantenimiento industrial, implica establecer estándares de calidad y procedimientos de inspección para garantizar que las actividades de mantenimiento se realicen según lo previsto, las auditorías internas y externas son herramientas utilizadas para verificar el cumplimiento de estos estándares e identificar oportunidades de mejora, siendo el control de calidad el encargado de garantizar la consistencia y la fiabilidad en las operaciones de mantenimiento, lo que contribuye a la seguridad y el rendimiento óptimo de los activos (Yanqui et al., 2024).

En los procesos de mantenimiento industrial, existen diversos riesgos asociados con el funcionamiento de equipos y sistemas complejos, la evaluación de riesgos identifica posibles amenazas y vulnerabilidades, permitiendo la implementación de medidas preventivas y de mitigación, la gestión proactiva de riesgos reduce la probabilidad de fallas inesperadas y minimiza el impacto de incidentes en la producción y la seguridad.

Finalmente, el proceso de retroalimentación y mejora continua es esencial en el mantenimiento industrial, la retroalimentación de los resultados de evaluación y control alimenta la mejora continua de las estrategias y prácticas de mantenimiento, los equipos de mantenimiento deben revisar regularmente sus procesos, identificar áreas de oportunidad y aplicar acciones correctivas o preventivas según sea necesario, este ciclo de mejora continua garantiza la adaptabilidad y la eficacia de las estrategias de mantenimiento frente a cambios en el entorno operativo.

UNIDAD III
POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO,
CORRECTIVO, PREDICTIVO

POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO

Las políticas de mantenimiento industrial constituyen un conjunto de directrices, estrategias y principios que guían la gestión de activos y la operación de equipos en entornos industriales, las cuales son fundamentales para garantizar la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia de los activos, así como para minimizar costos y riesgos asociados con el mantenimiento.

OBJETIVOS Y ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento industrial desempeña un papel crucial en la preservación de la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia de los activos en entornos industriales, para lograr estos objetivos, es fundamental establecer metas claras y definir estrategias efectivas de mantenimiento.

Los objetivos de mantenimiento son metas específicas que guían las actividades inherentes para optimizar el rendimiento y la vida útil de los activos, uno de los principales objetivos es maximizar la disponibilidad de los equipos, garantizando que estén operativos cuando se necesiten para la producción mediante la implementación de prácticas de mantenimiento preventivo y predictivo que identifican y abordan problemas antes de que ocurran (Mariottoni et al., 2015).

Otro factor importante para tomar en cuenta es mejorar la confiabilidad de los activos, reduciendo la frecuencia y la gravedad de las fallas mediante la implementación de estrategias de mantenimiento proactivo que abordan las causas subyacentes de las fallas y mejoran la robustez de los equipos, es así que un mantenimiento eficiente busca optimizar el rendimiento de los activos, mejorando su eficiencia operativa y maximizando la producción con los recursos disponibles.

CLASIFICACIÓN DE ACTIVOS Y PRIORIZACIÓN

La clasificación de activos y su posterior priorización son aspectos fundamentales en la gestión efectiva del mantenimiento industrial, este proceso implica identificar y categorizar los activos en función de su importancia estratégica y su impacto en las operaciones, este sistema se basa en criterios como la criticidad para la producción, la seguridad, el impacto ambiental y el costo de reemplazo (Quiroz-Cedeño & Sabando-Piguabe, 2021).

Los activos críticos son aquellos cuya falla podría tener un impacto significativo en la producción o la seguridad, por ejemplo, una máquina utilizada en un proceso clave de fabricación se consideraría un activo crítico, en cambio los activos no críticos, por otro lado, pueden incluir equipos auxiliares o de apoyo que tienen menos impacto en las operaciones si fallan.

Figura 15

Cargadora en una mina de carbón



Nota: Esta figura representa una cargadora en una mina de carbón la cual se convierte en un activo crítico de la empresa extractora, misma que fue generada mediante la IA Copilot Designer

Una vez clasificados, los activos se priorizan según su importancia relativa, la priorización se basa en la evaluación de riesgos y la criticidad de los activos, aquellos con mayor riesgo de falla o cuya falla tendría el mayor impacto en las operaciones se priorizan para recibir mayor atención en términos de mantenimiento preventivo, monitoreo y recursos dedicados.

La priorización de activos permite optimizar la asignación de recursos de mantenimiento, centrándose en los activos más críticos y estratégicos, esto asegura que los rubros se utilicen de manera eficiente para maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos clave, además, la priorización facilita la toma de decisiones informadas sobre inversiones en mantenimiento y la planificación estratégica a largo plazo.

PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN

Las políticas de mantenimiento industrial también incluyen procedimientos detallados para la planificación y programación de actividades, siendo la identificación de tareas, la asignación de recursos, la programación de intervenciones y la coordinación con las operaciones un factor primordial para minimizar el impacto en la producción, una planificación efectiva garantiza la ejecución oportuna y eficiente de las actividades de mantenimiento, maximizando así la disponibilidad y confiabilidad de los activos (Rey et al., 2020).

GESTIÓN DE RIESGOS Y SEGURIDAD

Las políticas de mantenimiento industrial integran medidas de gestión de riesgos y seguridad para proteger a los empleados, equipos y activos, identificando y evaluando riesgos asociados con las actividades de mantenimiento, así como la implementación de controles y procedimientos de seguridad para minimizar incidentes, la gestión efectiva de riesgos mejora la fiabilidad operativa y contribuye a un entorno laboral seguro (Cedeño-Moreira & Gorozabel-Chata, 2021).

EVALUACIÓN Y MEJORA CONTINUA

Las políticas de mantenimiento industrial establecen procesos de evaluación periódica del desempeño y la efectividad de las estrategias, esta evaluación conduce a la identificación de áreas de mejora y la implementación de acciones correctivas o preventivas para optimizar las políticas y procedimientos existentes, la mejora continua es fundamental para adaptarse a cambios en el entorno operativo y mantener la eficiencia en el mantenimiento industrial.

Figura 16

Representación de un ciclo de mejora continua PHVA



Nota: Esta figura representa un ciclo de mejora continua PHVA utilizada comúnmente en la industria, misma que fue elaborada por el autor, 2024

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo es una estrategia fundamental en la gestión de activos industriales que tiene como objetivo prevenir fallas y mantener el rendimiento óptimo de los equipos a través de actividades planificadas de inspección, lubricación, ajustes y sustitución de componentes.

CONCEPTOS CLAVE

El mantenimiento preventivo es una estrategia fundamental en la gestión de activos industriales que busca prevenir fallas y optimizar el rendimiento de equipos mediante actividades planificadas de inspección, limpieza, lubricación y ajustes en lugar de esperar a que ocurran problemas, el mantenimiento preventivo se centra en identificar y abordar condiciones degradadas antes de que se conviertan en fallas costosas o disruptivas (Antonio et al., 2022).

Una de las principales ventajas del mantenimiento preventivo es la reducción del tiempo de inactividad no planificado al realizar inspecciones y mantenimiento de rutina en intervalos programados, se pueden identificar problemas incipientes y tomar medidas correctivas antes de que afecten la operación, de esta manera contribuyendo a una mayor confiabilidad operativa y a una mejora en la disponibilidad de los equipos, ya que se minimiza la probabilidad de fallas repentinas.

El mantenimiento preventivo ayuda a optimizar el rendimiento de los activos al mantenerlos en condiciones óptimas de funcionamiento, una buena lubricación, la limpieza regular y los ajustes preventivos prolongan la vida útil de los equipos y aseguran un rendimiento consistente, esto se traduce en una mejora de la eficiencia operativa y una reducción de los costos asociados con reparaciones mayores o reemplazos prematuros.

Figura 17

Técnico realizando un proceso de calibración de válvulas de un motor estacionario



Nota: Esta figura representa a un técnico realizando un proceso de calibración de válvulas de un motor de combustión interna como parte de un proceso de mantenimiento preventivo, misma que fue generada mediante la IA Copilot Designer

Otro beneficio clave del mantenimiento preventivo es la mejora de la seguridad en el lugar de trabajo al poder identificar y corregir condiciones peligrosas antes de que representen un riesgo para los empleados, se crea un entorno laboral más seguro y se minimizan los accidentes relacionados con equipos defectuosos o mal mantenidos.

BENEFICIOS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo ofrece una serie de beneficios significativos para las organizaciones industriales, estos incluyen:

Reducción del tiempo de inactividad no planificado

La reducción del tiempo de inactividad no planificado es un objetivo clave del mantenimiento preventivo en la industria, este enfoque busca minimizar las interrupciones imprevistas en la producción al identificar y abordar problemas antes de que causen fallas catastróficas en los equipos.

Al realizar inspecciones periódicas las organizaciones pueden prevenir problemas potenciales y mantener la disponibilidad de los activos en niveles óptimos, traduciéndose en una operación más fluida y eficiente, reduciendo así los costos asociados con el tiempo de inactividad no planificado, como pérdidas de producción y reparaciones de emergencia.

Mejora de la confiabilidad operativa

La mejora de la confiabilidad operativa es uno de los beneficios clave del mantenimiento preventivo, al implementar distintas estrategias como inspecciones regulares, lubricación adecuada y reemplazo preventivo de componentes, las organizaciones pueden mantener sus equipos en condiciones óptimas de funcionamiento, traduciéndose en una mayor confiabilidad operativa, ya que se minimiza la probabilidad de fallas repentinas o problemas de rendimiento.

La mejora de la confiabilidad operativa contribuye a una producción más estable y consistente, lo que a su vez mejora la calidad de los productos y servicios ofrecidos, además, al reducir la frecuencia y gravedad de las fallas, se logra una mayor eficiencia operativa y se optimizan los recursos utilizados en mantenimiento y reparaciones.

En última instancia, la mejora de la confiabilidad operativa no solo beneficia la rentabilidad de la organización al reducir costos asociados con tiempos de inactividad y reparaciones costosas, sino que también mejora la satisfacción del cliente al garantizar la entrega oportuna y consistente de productos y servicios de calidad.

Optimización del rendimiento

La optimización del rendimiento es otro beneficio importante del mantenimiento preventivo con la implementación de actividades programadas de inspección, lubricación, ajustes y reemplazo preventivo de componentes, las organizaciones pueden mantener sus equipos en condiciones óptimas de funcionamiento, además permite aprovechar al máximo la capacidad de los equipos y mejorar la eficiencia operativa al mantener los equipos en condiciones óptimas, se prolonga su vida útil y se reducen los costos asociados con reparaciones mayores o reemplazos prematuros (Moreira et al., 2022).

Mayor seguridad

El mantenimiento preventivo también conduce a una mayor seguridad en el lugar de trabajo al identificar y abordar condiciones peligrosas antes de que representen un riesgo para los empleados, con la realización de inspecciones regulares se pueden detectar y corregir problemas de seguridad potenciales, como componentes desgastados, fugas o condiciones operativas inseguras.

La mejora de la seguridad en el lugar de trabajo no solo protege la salud y el bienestar de los empleados, sino que también contribuye a la reducción de costos asociados con lesiones laborales, indemnizaciones y tiempos de inactividad, además, al mantener un entorno de trabajo seguro y protegido, se fomenta la moral y la productividad de los empleados, lo que a su vez mejora la eficiencia operativa y la rentabilidad general de la organización.

Métodos y Herramientas

Los métodos y herramientas utilizados en el mantenimiento industrial desempeñan un papel crucial en la gestión efectiva de activos y equipos, estas técnicas permiten identificar problemas, predecir fallas y optimizar el rendimiento de los activos, contribuyendo así a una operación más eficiente y rentable.

Una de las herramientas más utilizadas es el sistema de gestión de mantenimiento asistido por computadora (CMMS, por sus siglas en inglés), este software permite gestionar de manera eficiente las actividades de mantenimiento, programar tareas, registrar historiales de mantenimiento, y analizar datos para mejorar las estrategias de mantenimiento, este facilita la planificación y programación de actividades, optimizando la asignación de recursos y minimizando el tiempo de inactividad no planificado.

Otra herramienta importante es el análisis de vibraciones, que se utiliza para monitorear la condición de maquinaria rotativa, el análisis de vibraciones puede detectar tempranamente problemas como desequilibrios, desalineaciones o rodamientos defectuosos, permitiendo intervenciones preventivas antes de que se produzcan fallas graves.

Figura 18

Medidor de Vibraciones



Nota: Esta figura representa un medidor de vibraciones utilizado en la industria, misma que fue elaborada por el autor, 2024

La termografía infrarroja es otra técnica valiosa que permite detectar anomalías térmicas en equipos eléctricos y mecánicos, esta herramienta identifica puntos calientes que pueden indicar problemas de sobrecalentamiento, conexiones flojas o componentes defectuosos, lo que ayuda a prevenir fallas catastróficas y mejorar la seguridad.

Figura 19
Cámara Termográfica



Nota: Esta figura representa una cámara termográfica utilizada para medir la temperatura de equipos industriales, misma que fue elaborada por el autor, 2024

El ultrasonido se utiliza para detectar fugas y evaluar la condición de rodamientos y otros componentes, esta técnica no destructiva es efectiva para identificar problemas ocultos y prevenir pérdidas de fluidos o gases.

Figura 20
Equipo de Ultrasonido



Nota: Esta figura representa un equipo portátil de ultrasonido utilizado para equipos industriales, misma que fue elaborada por el autor, 2024

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo es una estrategia de mantenimiento industrial que se centra en corregir fallas y problemas en equipos o activos después de que han ocurrido, a diferencia del mantenimiento preventivo, que busca prevenir fallas mediante actividades programadas, este se realiza en respuesta a una necesidad inmediata de reparación.

CONCEPTOS CLAVE

El mantenimiento correctivo implica intervenciones realizadas después de que un equipo o activo ha fallado o ha mostrado signos de deterioro significativo, este enfoque es reactivo y se activa cuando se detecta una falla o problema durante la operación normal, este se clasifica generalmente en dos tipos, el mantenimiento correctivo no planificado que se realiza de manera inmediata después de una falla inesperada y mantenimiento correctivo planificado, que se programa después de identificar un problema pero antes de una falla catastrófica (Carlos et al., 2022).

TIPOS DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo es una estrategia esencial en la gestión de activos industriales que se centra en corregir fallas y problemas en equipos o activos después de que han ocurrido, este se clasifica en dos tipos el planificado y el no planificado.

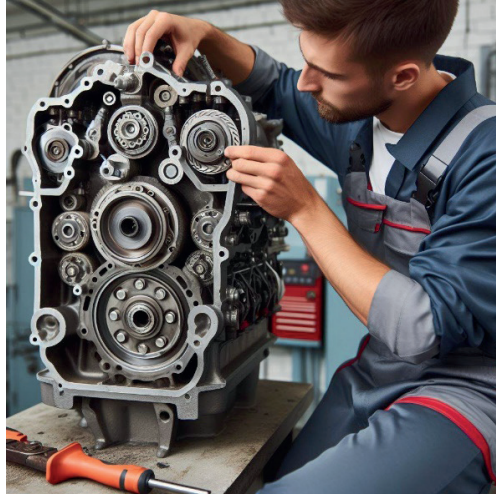
Correctivo no planificado

El mantenimiento correctivo no planificado es una estrategia de mantenimiento industrial que implica intervenciones de emergencia realizadas inmediatamente después de una falla inesperada en un equipo o activo.

Una característica fundamental del mantenimiento correctivo no planificado es su naturaleza reactiva, el cual se activa como respuesta directa a una falla que afecta la operación normal, es esencial para restaurar la funcionalidad del equipo y minimizar el tiempo de inactividad no planificado que puede tener un impacto significativo en la producción y las operaciones.

Figura 21

Técnico realizando un proceso de cambio de rodamientos de una caja reductora



Nota: Esta figura representa a un técnico realizando un proceso de cambio de rodamientos de una caja reductora como parte de un proceso de mantenimiento correctivo, misma que fue generada mediante la IA Copilot Designer

El mantenimiento correctivo no planificado tiene ventajas y desventajas importantes, por un lado, permite una respuesta rápida y efectiva a situaciones de emergencia, lo que ayuda a evitar interrupciones prolongadas en la producción; sin embargo, puede resultar costoso debido a la necesidad de reparaciones urgentes, piezas de repuesto rápidas y tiempo extra de trabajo, además este no aborda las causas subyacentes de la falla y puede llevar a una mayor probabilidad de futuras interrupciones.

Para minimizar la necesidad de recurrir a este tipo de mantenimiento es fundamental implementar estrategias preventivas, como el mantenimiento predictivo y el mantenimiento preventivo, estas permiten identificar problemas potenciales antes de que causen fallas mayores, reduciendo así la frecuencia y el impacto del mantenimiento correctivo no planificado.

Correctivo planificado

El mantenimiento correctivo planificado en cambio es una estrategia que implica intervenciones programadas en respuesta a señales de deterioro o problemas identificados antes de que ocurra una falla catastrófica en un equipo o activo.

Una característica clave de este proceso es su enfoque proactivo a diferencia del mantenimiento correctivo no planificado, que se activa después de que ocurre una falla, el mantenimiento correctivo planificado se programa estratégicamente para abordar problemas identificados durante inspecciones regulares o monitoreo de condición permitiendo corregir problemas antes de que afecten negativamente la operación y minimiza el riesgo de interrupciones no planificadas.

El mantenimiento correctivo planificado ofrece varios beneficios importantes como la ayuda a evitar fallas inesperadas al abordar problemas antes de que se conviertan en emergencias, esto contribuye a una mayor confiabilidad operativa y reduce el riesgo de tiempos de inactividad no planificados, además, este puede ser más rentable que el mantenimiento correctivo no planificado, ya que permite una gestión eficiente de recursos y tiempos de reparación (Becerra et al., 2021).

Sin embargo, el mantenimiento correctivo planificado también tiene algunas limitaciones, por ejemplo, puede ser difícil predecir con precisión cuándo ocurrirá una falla, lo que puede llevar a reparaciones innecesarias o programaciones ineficientes, además no aborda las causas subyacentes de las fallas y no sustituye a las estrategias preventivas, como el mantenimiento predictivo y preventivo.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Una ventaja clave del mantenimiento correctivo es su simplicidad y bajo costo inicial, debido a que no requiere planificación ni inversiones anticipadas, lo que lo hace atractivo en términos de costos iniciales, además, puede ser adecuado para equipos menos críticos o de menor importancia, donde el impacto de una falla no es significativo en términos de producción o seguridad, otra ventaja es que permite maximizar la vida útil de los equipos al utilizarlos hasta que realmente fallen, esto puede ser útil en situaciones donde los costos de mantenimiento preventivo o predictivo superan los beneficios esperados.

Por otra parte, la desventaja principal del mantenimiento correctivo es su naturaleza reactiva, dependiendo únicamente de esta estrategia puede resultar en tiempos de inactividad no planificados, costos de reparación elevados y riesgos para la seguridad y la producción, además, este tipo no aborda las causas subyacentes de las fallas, lo que puede llevar a problemas recurrentes y pérdidas de producción, adicional puede ser menos rentable a largo plazo, ya que no previene problemas antes de que ocurran y puede requerir reparaciones más costosas y frecuentes y por último, el mantenimiento correctivo puede afectar negativamente la moral de los empleados y la confianza en la gestión, especialmente si las fallas recurrentes interfieren con la productividad y la seguridad en el lugar de trabajo (Yunta & Rodrigo, 2019).

MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo es una estrategia proactiva en la gestión de activos industriales que se centra en predecir la necesidad de mantenimiento y abordar problemas potenciales antes de que ocurran fallas o interrupciones en la operación.

CONCEPTOS CLAVE

El mantenimiento predictivo es una estrategia avanzada en la gestión industrial que se centra en monitorear y analizar la condición de los equipos en tiempo real para predecir posibles fallas y realizar intervenciones de mantenimiento antes de que ocurran problemas graves.

Este tipo de mantenimiento se basa en el monitoreo continuo de parámetros y señales de rendimiento utilizando técnicas avanzadas de análisis de datos y sensores, este enfoque permite identificar patrones de degradación o desgaste temprano, lo que facilita la planificación de intervenciones de mantenimiento antes de que ocurran fallas críticas (Chaparro et al., 2019).

Una característica es su enfoque proactivo, a diferencia del mantenimiento correctivo, que es reactivo y se activa después de una falla, el mantenimiento predictivo busca prevenir fallas mediante la detección temprana de problemas y la implementación oportuna de acciones correctivas, los métodos comunes utilizados incluyen el análisis de vibraciones, análisis de aceite, termografía infrarroja, ultrasonido y monitoreo de condiciones eléctricas, estas técnicas permiten identificar señales tempranas de deterioro o problemas potenciales en equipos y activos, lo que ayuda a optimizar la vida útil de los equipos y minimizar los tiempos de inactividad no planificados.

Una de las principales ventajas del mantenimiento predictivo es su capacidad para maximizar la disponibilidad operativa al prevenir fallas inesperadas y optimizar la programación de intervenciones de mantenimiento lo que puede reducir significativamente los costos operativos al minimizar los tiempos de inactividad y maximizar la eficiencia de los recursos de mantenimiento (Useche et al., 2013).

MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

El mantenimiento predictivo es una estrategia clave en la gestión de activos industriales que se enfoca en predecir problemas de rendimiento y fallas potenciales en equipos utilizando métodos avanzados de monitoreo y análisis de datos, uno de los más utilizados es el análisis de vibraciones, el cual implica monitorear las oscilaciones mecánicas de equipos rotativos para detectar patrones anormales que puedan indicar desgaste, desalineación o desequilibrio.

Otro método popular es el análisis de aceite, que implica el monitoreo regular de las propiedades físicas y químicas del aceite lubricante utilizado en equipos, los cambios en estas propiedades pueden indicar la presencia de partículas metálicas, contaminantes o condiciones de desgaste anormales.

Figura 22

Toma de muestra para análisis de aceite



Nota: Esta figura representa a un técnico realizando una toma de aceite en un motor de combustión interna para posterior realizar el análisis, misma que fue elaborada por el autor, 2024

La termografía infrarroja es otra herramienta importante en el mantenimiento predictivo, esta técnica utiliza cámaras infrarrojas para medir y visualizar patrones de temperatura en equipos, las variaciones inusuales de temperatura pueden indicar puntos calientes o áreas de fricción excesiva, que pueden ser signos de problemas potenciales.

El monitoreo de condiciones eléctricas, como el análisis de corriente y voltaje, también es fundamental en el mantenimiento predictivo, las fluctuaciones en estos parámetros pueden indicar problemas de desgaste en motores eléctricos u otros componentes.

Figura 23

Representación de un técnico realizando una revisión a componentes eléctricos



Nota: Esta figura representa a un técnico realizando una revisión a un tablero eléctrico, misma que fue generada mediante la IA Copilot Designer

Las herramientas de análisis de datos y software de gestión de activos también desempeñan un papel crucial en el mantenimiento predictivo al procesar grandes volúmenes de datos de monitoreo para identificar patrones y tendencias, siendo estas herramientas permiten programar intervenciones de mantenimiento de manera eficiente y oportuna, maximizando así la disponibilidad operativa de los equipos.

BENEFICIOS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo ofrece varios beneficios significativos, incluyendo la reducción del tiempo de inactividad no planificado al anticipar y abordar problemas antes de que se conviertan en fallas, también permite optimizar la vida útil de los equipos al realizar mantenimiento solo cuando es necesario, lo que reduce costos y maximiza la disponibilidad operativa, además, mejora la seguridad al identificar condiciones peligrosas antes de que representen un riesgo para los empleados.

UNIDAD IV
GESTIÓN ECONÓMICA DEL MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL

DISTRIBUCIÓN DE COSTOS

La distribución de costos en el mantenimiento industrial es fundamental para comprender cómo se asignan y distribuyen los recursos financieros dentro de una organización para mantener la confiabilidad y disponibilidad de los activos.

COMPONENTES DE COSTOS EN EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Los componentes de costos en el mantenimiento industrial abarcan una amplia gama de gastos relacionados con el cuidado y mantenimiento de activos, la gestión eficaz de este coste es esencial para optimizar la confiabilidad operativa, minimizar tiempos de inactividad y garantizar un rendimiento óptimo de los equipos industriales (Gómez et al., 2015).

Costos Directos

Los costos directos en el mantenimiento industrial son aquellos gastos específicos que están directamente relacionados con las actividades de mantenimiento de los equipos y activos industriales, estos costos son fundamentales para asegurar la operatividad y la fiabilidad de los equipos en entornos industriales.

Mano de Obra Especializada

Uno de los componentes más significativos de los costos directos es la mano de obra especializada necesaria para realizar tareas de mantenimiento, incluye técnicos, ingenieros y personal capacitado en reparación y mantenimiento de equipos específicos, los salarios y beneficios de este personal representan una parte importante de los costos directos.

Figura 24

Representación de un grupo de técnicos de una planta refinadora de petróleo



Nota: Esta figura representa a un grupo de técnicos especializados de una planta refinadora de petróleo, misma que fue generada mediante la IA Copilot Designer

Materiales y Repuestos

Los materiales y repuestos utilizados en reparaciones y mantenimiento preventivo son otro componente clave de los costos directos, los cuales incluyen piezas de repuesto, lubricantes, fluidos y otros consumibles necesarios para mantener los equipos en óptimas condiciones de funcionamiento.

Costos de Herramientas y Equipos Específicos

Para realizar actividades de mantenimiento de manera efectiva, se requieren herramientas y equipos específicos los cuales incluyen herramientas manuales, equipos de diagnóstico, instrumentos de medición y software de gestión de activos, estos costos asociados con la adquisición, mantenimiento y depreciación de estas herramientas son parte de los costos directos.

Servicios Tercerizados Especializados

En algunos casos, se requieren servicios especializados de terceros para actividades de mantenimiento específicas, como inspecciones técnicas, calibraciones y reparaciones especializadas.

Importancia de la Gestión de Costos Directos

Una gestión eficiente de los costos directos en el mantenimiento industrial es crucial para optimizar la eficiencia operativa y maximizar la vida útil de los activos, identificar y controlar estos ayuda a reducir los gastos innecesarios, optimizar la utilización de recursos y garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos en el mantenimiento industrial son elementos de gastos que no están directamente asociados con las actividades de reparación y mantenimiento de equipos, pero que son esenciales para respaldar y facilitar eficazmente estas operaciones, estos abarcan una variedad de aspectos fundamentales para el funcionamiento eficiente de un departamento de mantenimiento en una instalación industrial (Sosa et al., 2018).

En los costos indirectos también se incluyen los gastos administrativos y de gestión como los salarios, beneficios del personal administrativo, gerentes y supervisores de mantenimiento, costos asociados con la gestión diaria del departamento de mantenimiento, suministros de oficina, software de gestión de activos y otros gastos generales.

Los gastos de planificación y programación implican los recursos y el tiempo dedicados a coordinar actividades de mantenimiento, programar intervenciones, analizar datos de rendimiento y optimizar la programación de tareas para maximizar la eficiencia operativa, por último, también se abarcan los gastos relacionados con seguros y seguridad laboral (Friedrich & Ardenghi, 2009).

COSTOS DE FALLAS Y TIEMPO DE INACTIVIDAD

Los costos asociados con fallas y tiempo de inactividad en el mantenimiento industrial representan una preocupación significativa para las empresas, ya que pueden tener un impacto considerable en la productividad, rentabilidad y competitividad, estos incluyen una variedad de gastos directos e indirectos que resultan de las interrupciones no planificadas en la operación de equipos y activos industriales.

Uno de los costos más evidentes son los relacionados con las reparaciones y reemplazos de equipos averiados en los cuales se incluyen el costo de las piezas de repuesto, mano de obra, y servicios externos necesarios para restaurar los equipos a su funcionamiento normal.

Los costos de tiempo de inactividad no planificado también abarcan pérdidas de producción y ventas, cuando un equipo crítico falla, puede resultar en una interrupción en la línea de producción, lo que conlleva a pérdidas económicas directas debido a la disminución de la producción y ventas no realizadas.

Otro aspecto importante son los costos asociados con el personal adicional y horas extras necesarias para recuperar el tiempo perdido durante el tiempo de inactividad, estos pueden aumentar significativamente los gastos operativos y afectar la rentabilidad, además de los costos directos, las fallas y tiempo de inactividad también pueden tener impactos indirectos en la reputación de la empresa, la satisfacción del cliente y la moral de los empleados (Bravo et al., 2011).

CONSIDERACIONES EN LA DISTRIBUCIÓN DE COSTOS

Las consideraciones en la distribución de costos en el mantenimiento industrial deben estar alineadas con las necesidades operativas y estratégicas de la organización, al implementar estrategias de distribución de costos efectivas, las empresas pueden mejorar la eficiencia operativa, maximizar la vida útil de los activos y optimizar el retorno de inversión en mantenimiento.

Análisis de Costo-Beneficio: Es fundamental realizar un análisis exhaustivo de costos y beneficios para determinar la asignación óptima de recursos en actividades de mantenimiento, evaluando los costos esperados de mantener versus los costes de no mantener y los posibles impactos en la producción.

Priorización de Actividades: La distribución de costos debe estar alineada con la priorización de actividades de mantenimiento basadas en la criticidad de los activos y el impacto potencial de las fallas en la operación.

Optimización de Recursos: Es importante optimizar la distribución de costos para maximizar la eficiencia operativa y minimizar los costos totales de mantenimiento en donde se puede incluir estrategias como la tercerización de ciertas actividades, implementación de tecnologías de mantenimiento predictivo y preventivo, y uso eficiente de herramientas de gestión de activos.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN CONTABLE

Los sistemas de información contable desempeñan un papel crucial en la gestión eficaz del mantenimiento industrial al proporcionar herramientas y procesos para la recopilación, análisis y presentación de datos financieros relacionados con las actividades de mantenimiento.

COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN CONTABLE

La importancia de estos componentes radica en su capacidad para proporcionar datos precisos y oportunos que respalden la toma de decisiones estratégicas, la optimización de recursos y la mejora continua en las operaciones de mantenimiento industrial, un sistema de información contable efectivo contribuye significativamente a la eficiencia y rentabilidad de las actividades de mantenimiento en una organización industrial (Bernala et al., 2014).

Registro de Costos de Mantenimiento

El registro de costos en el mantenimiento industrial es un proceso crítico que implica la recopilación y clasificación sistemática de todos los gastos asociados con las actividades de mantenimiento, uno de los componentes principales de estos costos es la mano de obra, que abarca los salarios, beneficios y horas extras del personal dedicado al mantenimiento, este aspecto es fundamental, ya que el personal técnico y especializado desempeña un papel crucial en la ejecución efectiva de las tareas designadas.

La mano de obra, el registro de costos incluye materiales y repuestos utilizados en reparaciones y mantenimiento lo que abarca desde piezas de repuesto hasta lubricantes y consumibles necesarios para el funcionamiento adecuado de los equipos, los servicios externos también representan una parte significativa de los costos, que pueden incluir el costo de contratistas, servicios especializados y consultoría técnica para actividades específicas de mantenimiento.

Otro aspecto relevante son los gastos generales, que comprenden costos administrativos y de gestión relacionados con el mantenimiento lo que abarca herramientas, software de gestión de activos, costos de oficina y otros gastos indirectos necesarios para respaldar las operaciones de mantenimiento.

Análisis de Costos por Actividad

El análisis de costos por actividad en el mantenimiento industrial es esencial para entender y gestionar eficazmente los recursos asociados con las diversas tareas de mantenimiento, este enfoque implica desglosar los costos en función de las actividades específicas realizadas durante el mantenimiento, lo que proporciona una visión detallada de cómo se distribuyen los recursos y dónde se concentran los gastos, al realizar este análisis, se pueden identificar áreas de alto costo y oportunidades de mejora, lo que facilita la toma de decisiones informadas para optimizar la eficiencia operativa (Loera et al., 2013).

Una de las ventajas del análisis de costos por actividad es su capacidad para identificar los costos directos asociados con cada tarea de mantenimiento lo que incluye la mano de obra directa, los materiales utilizados y cualquier servicio externo necesario al asignar estos costos de manera específica a cada actividad, se puede evaluar con mayor precisión la rentabilidad y el rendimiento de las operaciones de mantenimiento.

En última instancia, el análisis de costos por actividad en el mantenimiento industrial ayuda a optimizar el uso de recursos al identificar áreas de alto costo y evaluar la rentabilidad de cada tarea ayudando a las organizaciones a tomar decisiones fundamentadas para mejorar la eficiencia operativa, reducir costos innecesarios y garantizar el uso efectivo de los recursos financieros en el mantenimiento de activos industriales.

Presupuesto y Control de Costos

El presupuesto y control de costos son aspectos fundamentales para garantizar una gestión financiera eficaz y sostenible de las actividades de mantenimiento, estas prácticas permiten planificar, asignar y monitorear los recursos financieros necesarios para mantener en óptimas condiciones los activos industriales.

Con la elaboración de un presupuesto específico implica estimar los costos esperados asociados con el mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, así como los gastos relacionados con mano de obra, materiales, servicios externos y gastos generales, este presupuesto sirve como una guía financiera que ayuda a gestionar y distribuir eficazmente los recursos financieros disponibles.

Figura 25

Representación de un grupo de técnicos generando un presupuesto específico



Nota: Esta figura representa a un grupo de técnicos especializados generando una proyección de un presupuesto específico de una empresa textil, misma que fue generada mediante la IA Copilot Designer

Una vez establecido el presupuesto, el control de costos se vuelve esencial para monitorear y gestionar los gastos reales frente a los presupuestados permitiendo comparar continuamente los costos reales con las estimaciones presupuestarias y tomar medidas correctivas cuando sea necesario para evitar desviaciones significativas.

Generación de Informes Financieros

La generación de informes financieros en el contexto del mantenimiento industrial es fundamental para evaluar el desempeño económico de las actividades y tomar decisiones informadas, estos informes proporcionan una visión clara de los costos asociados con el mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, así como de otros gastos relacionados (Virós, 2013).

La recopilación precisa de datos financieros es fundamental para generar informes significativos permitiendo la captura detallada de todos los costos relacionados con el mantenimiento, como mano de obra, materiales, servicios externos y gastos generales, utilizando sistemas de información contable adecuados, una vez recolectados se pueden generar informes financieros específicos que proporcionen información detallada sobre los costos de mantenimiento por período, por tipo de actividad o por activo específico.

Además, esta técnica proporciona una visión retrospectiva de los costos, los informes financieros también son útiles para la planificación futura al analizar los informes financieros, se pueden identificar áreas de alto costo y oportunidades de mejora, lo que facilita la toma de decisiones estratégicas para optimizar la gestión de recursos y mejorar la eficiencia operativa (Del Pozo et al., 2016).

IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN CONTABLE EN EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Los sistemas de información contable son fundamentales para la gestión eficaz del mantenimiento industrial al proporcionar datos precisos y oportunos sobre costos y recursos financieros, estos facilitan la toma de decisiones estratégicas, la optimización de recursos y la mejora continua de las operaciones de mantenimiento en entornos industriales, su importancia radica en su capacidad para impulsar la eficiencia operativa, reducir costos y garantizar la disponibilidad y fiabilidad de los activos industriales (Sáez, 2006).

Toma de Decisiones Basada en Datos: Los sistemas de información contable proporcionan datos precisos y actualizados sobre los costos de mantenimiento, permitiendo que los gerentes tomen decisiones informadas y estratégicas.

Optimización de Recursos: Permiten una mejor asignación de recursos financieros al identificar áreas de alto costo y oportunidades de ahorro.

Cumplimiento Normativo: Facilitan el cumplimiento de regulaciones financieras y contables al mantener registros precisos y transparentes de los costos de mantenimiento.

Mejora Continua: Al analizar datos históricos de costos, los sistemas contables ayudan a identificar patrones y tendencias que impulsan la mejora continua de las prácticas de mantenimiento.

COSTOS DE MANTENIMIENTO INTEGRAL

El mantenimiento integral en el contexto industrial involucra una gestión holística de las actividades de mantenimiento, considerando tanto los aspectos técnicos como los financieros, los costos asociados con este enfoque abarcan diversas dimensiones que deben ser analizadas y comprendidas para una eficiente gestión.

Definición de Costos de Mantenimiento Integral

Los costos de mantenimiento integral en el contexto industrial representan todos los gastos asociados con el cuidado y la preservación de los activos físicos de una empresa, este enfoque va más allá de simplemente reparar equipos y abarca una gestión completa de los activos para garantizar su disponibilidad, fiabilidad y eficiencia operativa.

Estos costos abarcan tanto los gastos directos como los indirectos, los directos incluyen mano de obra dedicada a tareas de mantenimiento, costos de materiales, repuestos y servicios técnicos externos, en cambio los indirectos pueden surgir de la pérdida de producción debido a paradas no planificadas, costos por tiempos de inactividad y otros impactos operativos (Moreno-Brid, 2013).

La gestión adecuada de los costos de mantenimiento integral es esencial para optimizar el rendimiento de los activos industriales y garantizar la rentabilidad a largo plazo a través de la utilización de herramientas como análisis de costos de ciclo de vida, técnicas de presupuesto y control de costos, así como evaluaciones de rentabilidad de activos para tomar decisiones informadas sobre inversiones y recursos.

CLASIFICACIÓN DE COSTOS

La clasificación de costos en el mantenimiento industrial es crucial para comprender y gestionar eficazmente los gastos asociados con la conservación de activos, estos se pueden clasificar en diferentes categorías según su naturaleza y su relación con las actividades de mantenimiento.

Figura 26

Flujo de la clasificación de costos



Nota: Esta figura representa a un flujo de la clasificación de costos utilizados en los procesos de mantenimiento industrial, misma que fue elaborada por el autor, 2024

Costos de Mantenimiento Preventivo

Estos costos están relacionados con las actividades planificadas destinadas a prevenir fallas y mantener la funcionalidad de los equipos, donde se incluyen inspecciones regulares, lubricación, ajustes y reemplazo de partes desgastadas, los costos preventivos buscan evitar interrupciones no planificadas y reducir el riesgo de averías.

Costos de Mantenimiento Correctivo

Estos costos surgen de las reparaciones necesarias para corregir fallas o problemas identificados durante la operación en donde se incluyen mano de obra, materiales y servicios externos utilizados para restablecer el funcionamiento normal de los equipos después de una avería.

Costos de Mantenimiento Predictivo

Este tipo de costos está asociado con técnicas y herramientas utilizadas para predecir fallas potenciales en los equipos, incluyen el costo de implementar tecnologías como análisis de vibraciones, termografía, análisis de aceite, entre otros, que permiten detectar signos tempranos de deterioro.

Costos Indirectos

Estos costos no están directamente relacionados con actividades de mantenimiento específicas, pero impactan en el rendimiento y los resultados financieros, pueden incluir costos de paradas de producción, pérdida de ingresos por tiempos de inactividad, costos de gestión de inventario y costos de seguridad asociados con equipos en mal estado.

HERRAMIENTAS Y MÉTODOS DE ANÁLISIS

Para abordar los costos de mantenimiento integral, se utilizan diversas herramientas y métodos de análisis como el análisis de costos de ciclo de vida, análisis de rentabilidad de activos (ROA), análisis de costo-beneficio y técnicas de presupuesto y control de costos específicas para el mantenimiento.

EL COSTO DE CICLO DE VIDA

El costo de ciclo de vida en el mantenimiento industrial es un enfoque integral para evaluar y gestionar todos los costos asociados con un activo a lo largo de su vida útil, este concepto va más allá de simplemente considerar el costo inicial de adquisición y abarca todos los gastos relacionados con la operación, mantenimiento y disposición final del activo (Retolaza et al., 2021).

El costo de ciclo de vida abarca el coste total de propiedad de un activo desde su adquisición hasta su retiro incluyendo no solo el costo inicial de compra, que puede abarcar el precio de adquisición, transporte e instalación, sino también los valores continuos de operación y mantenimiento durante toda la vida útil del activo, en este se incorpora costos indirectos y asociados, como costos de energía, mano de obra para actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, costos de repuestos y consumibles, así como costos relacionados con el tiempo de inactividad y la pérdida de producción debido a fallas o mantenimiento no planificado (Toro-Ocampo et al., 2016).

La importancia de esta definición radica en su capacidad para proporcionar una visión holística de los costos asociados con la gestión de activos industriales permitiendo a las organizaciones tomar decisiones informadas sobre inversiones, programación de mantenimiento y estrategias de gestión de activos para optimizar la eficiencia operativa y maximizar el retorno de la inversión a lo largo del ciclo de vida del activo.

IMPORTANCIA DEL COSTO DE CICLO DE VIDA

La importancia del costo de ciclo de vida en el mantenimiento industrial radica en su capacidad para proporcionar una perspectiva integral y a largo plazo de la gestión de activos permitiendo tomar decisiones informadas sobre la gestión desde una perspectiva financiera, al considerar todos los costos asociados con un activo a lo largo de su vida útil, las organizaciones pueden evaluar y comparar diferentes estrategias de mantenimiento, reparación y reemplazo para optimizar la eficiencia operativa y maximizar la rentabilidad (Wakabayashi & Merzthal, 2015).

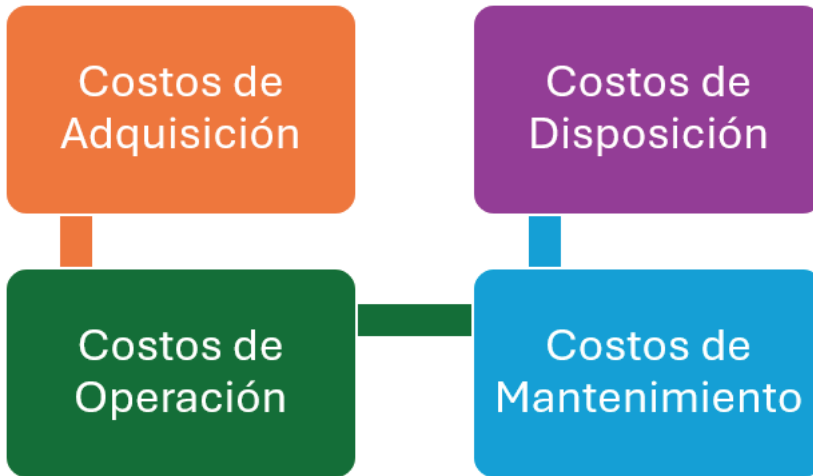
Este enfoque ayuda a identificar y mitigar los costos ocultos asociados con la falta de mantenimiento adecuado, al considerar los costos de operación, mantenimiento y disposición final, las organizaciones pueden anticipar y evitar valores imprevistos derivados de fallas y tiempos de inactividad no planificados, al evaluar el costo total de propiedad, las organizaciones pueden tomar decisiones estratégicas sobre la adquisición, mantenimiento y actualización de activos para maximizar su vida útil y su rendimiento.

COMPONENTES DEL COSTO DE CICLO DE VIDA

El costo de ciclo de vida en el mantenimiento industrial comprende varios componentes fundamentales que abarcan todos los gastos asociados con la gestión de activos a lo largo de su vida útil, estos son esenciales para comprender y evaluar adecuadamente los costos relacionados con la operación, mantenimiento y disposición final de equipos industriales.

Figura 27

Flujo de los componentes del Costo de Ciclo de Vida



Nota: Esta figura representa el flujo de los componentes del Costo de Ciclo de Vida utilizados en los procesos de mantenimiento industrial, misma que fue elaborada por el autor, 2024

Costos de adquisición

Los costos de adquisición desempeñan un papel fundamental en el mantenimiento industrial, ya que representan los gastos asociados con la compra inicial de equipos, maquinaria y activos necesarios para las operaciones industriales, el precio de compra de un activo es solo uno de los componentes de los costos de adquisición, además del valor base del equipo también se deben considerar otros gastos como el transporte desde el proveedor hasta el lugar de instalación (Löfsten, 1999).

Los costos de transporte pueden incluir tarifas de flete, seguros de carga y otros precios asociados con el movimiento del equipo, una vez que el equipo llega al sitio, se incurre en costos de instalación y puesta en marcha, estos pueden implicar el trabajo de técnicos especializados para configurar y conectar el equipo a las instalaciones existentes, así como realizar pruebas iniciales para garantizar su funcionamiento adecuado (Fasuludeen et al., 2022).

Otro aspecto importante de los costos de adquisición es la configuración inicial del equipo, lo que implica preparar el sitio para recibirlo, lo que puede incluir modificaciones en el área de trabajo, instalación de cimientos o plataformas especiales, y la conexión a servicios esenciales como electricidad, agua o aire comprimido.

Costos de operación

Los costos de operación en el mantenimiento industrial son críticos para el funcionamiento efectivo de las instalaciones industriales, estos comprenden una serie de gastos recurrentes que se incurren durante la operación diaria de equipos y maquinaria, uno de los componentes más significativos de los costos de operación es el consumo de energía, que abarca electricidad, gas, combustible u otros recursos necesarios para alimentar equipos y procesos industriales, la eficiencia energética es fundamental para minimizar estos costos y reducir el impacto ambiental de las operaciones industriales (DEAC et al., 2010).

Un aspecto imprescindible para considerar es la mano de obra operativa, que incluye los costos laborales asociados con la operación y el mantenimiento diario de equipos, abarcando desde la supervisión y operación de máquinas hasta la ejecución de tareas de mantenimiento preventivo y correctivo.

Los costos de operación también incluyen los gastos relacionados con el mantenimiento preventivo y los consumibles necesarios para mantener los equipos en funcionamiento, esto abarca desde lubricantes y filtros hasta piezas de repuesto y mantenimiento programado para prevenir fallas inesperadas, gestionar estos costos de manera eficiente implica adoptar estrategias de mantenimiento proactivo que prolonguen la vida útil de los equipos y minimicen los tiempos de inactividad no planificados.

Costos de mantenimiento

Estos son una parte fundamental de la gestión de activos en cualquier planta o instalación industrial, estos comprenden todos los gastos asociados con el mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo de equipos y maquinaria utilizados en procesos industriales, algunos de los componentes clave incluyen mano de obra especializada, repuestos y consumibles, servicios externos, y tiempo de inactividad asociado con reparaciones.

Gestionar eficazmente los costos de mantenimiento industrial es crucial para optimizar la disponibilidad y confiabilidad de los activos, así como para minimizar los gastos innecesarios, estrategias como el mantenimiento predictivo y preventivo pueden ayudar a reducir los costos asociados con reparaciones no planificadas y tiempos de inactividad.

Costos de disposición

Los costos de disposición en el mantenimiento industrial son aquellos relacionados con la eliminación adecuada de equipos, maquinaria o residuos generados durante el proceso de mantenimiento o al final de la vida útil de un activo, estos incluyen la desinstalación, desmantelamiento y transporte de activos obsoletos o no utilizados, así como la disposición final en cumplimiento con regulaciones ambientales (Rojek et al., 2023).

El Gestionar adecuadamente los costos de disposición es crucial para minimizar impactos negativos en el medio ambiente y cumplir con normativas legales, esto se logra identificando y separando materiales reciclables, gestionando residuos peligrosos de manera segura y eficiente, y coordinando con proveedores de servicios de disposición autorizados; además, los costos de disposición también pueden incluir la gestión de la documentación y registros relacionados con la eliminación de activos.

REFERENCIAS

- Antonio, E., Cisneros, G., Gondres Torné, I., Matos Ramírez, N., Printes, A. L., Cláudio, R., Gomes, S., De, F., & Cardoso, S. (2022). Análisis del mantenimiento en vehículos de transporte masivo através de indicadores de mantenimiento de clase mundial. *Conjecturas*, 22(2), 1230–1242. <https://doi.org/10.53660/CONJ-836-F19>
- Backlund, F., & Hannu, J. (2002). Can we make maintenance decision on risk analysis results. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 8.
- Becerra, Ó. R. B., Comas, A. D. P., & Saldivia, F. J. S. (2021). De la industria a la docencia, implementación unificada de cátedra en ingeniería de mantenimiento a través de herramientas TIC. *Revista Docencia Universitaria*, 31–32. <https://doi.org/10.18273/REVD.VESP1-2021016>
- Bernala, P. C. B., Molina, O. G., & Rodríguez, J. S. L. (2014). La reconversión industrial de la siderúrgica integrada en Colombia. *Estudios Gerenciales*, 30(133), 451–460. <https://doi.org/10.1016/J.ESTGER.2014.05.001>
- Bravo, C., Aguilar-Castro, J., Ríos, A., Aguilar-Martin, J., & Rivas, F. (2011). Arquitectura Basada en Inteligencia Artificial Distribuida para la Gerencia Integrada de Producción Industrial. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 8(4), 405–417. <https://doi.org/10.1016/J.RIAI.2011.09.013>
- C., W. O., A., M. B., & A., B. C. (2010). IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL DENTRO DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN. *Scientia Et Technica*, XVI(44), 354–356. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917316066>
- Cabrera, A. O., Rodríguez, S., & Almarza, C. A. (2017). Mejoramiento del proceso de fabricación de aductos de aminas alifáticas o cicloalifáticas con resinas epóxicas utilizados en el área de la construcción y mantenimiento industrial. *Revista INGENIERÍA UC*, 24(2), 256–268. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70753474012>
- Carbajal, C., & Chávez, E. (2009). Reseña de “La productividad en el mantenimiento industrial” de Enrique Dounce Villanueva. *Innovación Educativa*, 9(48), 93-undefined. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179414896013>
- Cárcel Carrasco, E., Javier, F., & Porta, R. (2013). Principios básicos de la Gestión del Conocimiento y su aplicación a la empresa industrial en sus actividades tácticas de mantenimiento y explotación operativa: Un estudio cualitativo. *Intangible Capital*, 9(1), 91–125. <https://doi.org/10.3926/ic.341>
- Carlos Hernández, S., & Díaz Jiménez, M. D. L. V. (2018). Evaluación De Un Proceso Industrial De Producción De Biodiésel Mediante Análisis De Ciclo De Vida. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 34(3), 453–465. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.08>
- Carlos, M. J., Barajas, B., Jorge, M., Ramos Frutos, A., Francisco Casarez Yépez, I., Nikolle, S., García D A Tecnm, A., Instituto Tecnológico De Jiquilpan, /, & Jiquilpan, M. (2022). Aplicación de las filosofías de mantenimiento productivo total y mantenimiento centrado en la confiabilidad en la empresa HANDMADE SHOES S. A de C. V. *INNODOCT 2021*. <https://doi.org/10.4995/INN2021.2021.13393>
- Cedeño-Moreira, W. J., & Gorozabel-Chata, F. B. (2021). Análisis de criticidad del equipamiento industrial de la línea de bovinos de un centro de faenamiento. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249, 4(8 Ed. esp.), 49–65. <https://doi.org/10.46296/IG.V4I8EDESPSEP.0029>

Chaparro, M. G., Sánchez Barroso, G., Carretero Ayuso, M. J., Justo, &, & Sanz-Calcedo, G. (2019). Análisis de la Eficiencia de Mantenimiento en un Hospital en Madrid (España) = Analysis of Maintenance Efficiency at a Hospital in Madrid (Spain). *Anales de Edificación*, 5(3), 35–39. <https://doi.org/10.20868/ADE.2019.4366>

Científica, R., & Ingeniar, ' '. (2022). Estrategias de gestión del mantenimiento de volquetes. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249., 5(9), 25–33. <https://doi.org/10.46296/IG.V5I9.0051>

DEAC, V., CARSTEAN, G., BAGU, C., & PARVU, F. (2010). The Modern Approach to Industrial Maintenance Management. *Informatică Economică*, 14(2), 133–144. <https://doaj.org/article/429c61b1bef641c788b98456ff5f9b86>

del Pozo, P. B., Calderón Calderón, B., & Ruiz-Valdepeñas, H. P. (2016). La gestión territorial del patrimonio industrial en Castilla y León (España): fábricas y paisajes. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía*, 2016(90), 136–154. <https://doi.org/10.14350/RIG.52802>

Emblemsvåg, J., & Kjølstad, L. (2002). Strategic risk analysis-a field version. *Management Decision*, 40, 842–852.

Fasuludeen Kunju, F. Khan, Naveed, N., Anwar, M. N., & Ul Haq, M. I. (2022). Production and maintenance in industries: impact of industry 4.0. *Industrial Robot*, 49(3), 461–475. <https://doi.org/10.1108/IR-09-2021-0211/FULL/XML>

Friedrich, G. R., & Ardenghi, J. R. (2009). Un modelo para el análisis de la confiabilidad de Ethernet Industrial en topología de anillo. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 6(3), 101–109. [https://doi.org/10.1016/S1697-7912\(09\)70269-9](https://doi.org/10.1016/S1697-7912(09)70269-9)

Gao, S., Wang, Y., & Zhang, Y. (2023). Thermal behavior study and experimental testing of deep groove ball bearings. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 37(12), 6679–6689. <https://doi.org/10.1007/S12206-023-1039-8>

Gómez, A. H., Toledo, C. E., Prado, J. M. L., & Morales, S. N. (2015). Factores críticos de éxito para el despliegue del mantenimiento productivo total en plantas de la industria maquiladora para la exportación en Ciudad Juárez: Una solución factorial. *Contaduría y Administración*, 60, 82–106. <https://doi.org/10.1016/J.CYA.2015.08.005>

Hernández Dávila, E. S., Gallegos Londoño, C. M., & García Mora, F. A. (2023). Estadística descriptiva para el mantenimiento industrial con Python. *Estadística Descriptiva Para El Mantenimiento Industrial Con Python*. <https://doi.org/10.33996/CIDE.ECUADOR.EP2636553>

Hernández, L. M., Orencio, M. C. M., Barrales, R. R., Pérez, V. U. V., López, P. de A., & Franco, V. H. J. (2022). Aplicación de seis sigma en una empresa de mantenimiento industrial para reducir el número de licitaciones incorrectas : Application of six sigma in an industrial maintenance company to reduce the number of incorrect tenders. *South Florida Journal of Development*, 3(2), 2826–2837. <https://doi.org/10.46932/sfjdv3n2-097>

Kim, D., Kim, M., Ryu, G., & Park, J. (2023). On heat, temperature, and cavity oil volume fraction of an under-race lubricated angular contact ball bearing. *Tribology International*, 187. <https://doi.org/10.1016/J.TRIBOINT.2023.108715>

- Laguna, V. V., Hernández, U. N. M., Castañeda, I. A. R., Parada, R. G., & Cruz, O. R. C. (2024). Factores de éxito que influyen en el aseguramiento industrial. *Revista NeyArt*, 2(1), 17–27. <https://doi.org/10.61273/NEYART.V2I1.41>
- Lázaro, J. M. B., Prieto-Moreno, A., Llanes-Santiago, O., & García-Moreno, E. (2011). Estudio comparativo de clasificadores empleados en el diagnóstico de fallos de sistemas industriales. *Ingeniería Mecánica*, 14(2), 87–98. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225117950001>
- Loera, I., Espinosa, G., Enríquez, C., & Rodríguez, J. (2013). Productivity in Construction and Industrial Maintenance. *Procedia Engineering*, 63, 947–955. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2013.08.274>
- Löfsten, H. (1999). Management of industrial maintenance - Economic evaluation of maintenance policies. *International Journal of Operations and Production Management*, 19(7), 716–737. <https://doi.org/10.1108/01443579910271683/FULL/XML>
- Mariottoni, C. A., Javier, F., & Carrasco, C. (2015). Mejora de la eficiencia industrial por la gestión del conocimiento en la Ingeniería del mantenimiento. *Labor e Engenho*, 9(3), 5–12. <https://doi.org/10.20396/LOBORE.V9I3.8637457>
- Mauricio, B., Brito, Á., Estefanía Muñoz Macias, G., Neurio, H., Briones, M., Michelle, C., & Macias, M. (2024). Realidad Aumentada Aplicada en la Supervisión, Mantenimiento de Equipos y Procesos Industriales. *CONECTIVIDAD*, 5(2), 63–78. <https://doi.org/10.37431/CONECTIVIDAD.V5I2.130>
- Moreira Mendoza, N., Intriago, C. A., Merchán, I. A., Mendoza Zambrano, R., Superior, I., Paulo, T., & Macias, E. (2022). Organización y planificación del mantenimiento de equipos de mecanizado en talleres industriales de la ciudad de Portoviejo. *Revista Científica Sinapsis*, 21(1). <https://doi.org/10.37117/S. V21I1.684>
- Moreno-Brid, J. C. (2013). Industrial Policy: A Missing Link in Mexico's Quest for Export-led Growth. *Latin American Policy*, 4(2), 216–237. <https://doi.org/10.1111/LAMP.12015>
- Okumus, F. (2003). A framework to implement strategies in organizations. *Management Decision*, 41, 871–882.
- Quiroz-Cedeño, D. O., & Sabando-Piguabe, L. F. (2021). Localización de pares tribológico en bombas de agua tipo centrifugas para la propuesta de un plan de mantenimiento integral en la empresa atunera FISCHCORP S.A - Manta. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249., 4(8 Ed. esp.), 2–15. <https://doi.org/10.46296/IG.V4I8EDESPOCT.0030>
- Retolaza, I., Ezpeleta, I., Santos, A., Diaz, I., & Martinez, F. (2021). Design to cost; a framework for large industrial products. *Procedia CIRP*, 100, 828–833. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2021.05.036>
- Rey, J., Carrascal, C., Nacional, U., Marcos, S., & Lima, P. (2020). Sistema de información de costos y gestión de operaciones en una MIPYME de servicio de mantenimiento industrial. *Global Business Administration Journal*, 4(2), 115–125. <https://doi.org/10.31381/GBAJ.V4I2.3173>
- Rojek, I., Jasiulewicz-Kaczmarek, M., Piechowski, M., & Mikołajewski, D. (2023). An Artificial Intelligence Approach for Improving Maintenance to Supervise Machine Failures and Support Their Repair. *Applied Sciences* 2023, Vol. 13, Page 4971, 13(8), 4971. <https://doi.org/10.3390/APP13084971>

- Sáez García, M. Á. (2006). How Cartels Endure and How They Fail. *Studies of Industrial Collusion*, Peter Z. Grossman (Ed.), Edward Elgar, Cheltenham, U. K. (2004), 324 pp. *Investigaciones de Historia Económica*, 2(4), 201–204. [https://doi.org/10.1016/S1698-6989\(06\)70245-4](https://doi.org/10.1016/S1698-6989(06)70245-4)
- Serrano, S. E. G., Villabona, C. P., & Rincón, J. C. (2019). Incidencia de las estrategias de enseñanza aprendizaje en los aprendices del programa Electricidad Industrial del Centro Industrial de Mantenimiento Integral. *Revista Integra: Investigación Aplicada, Desarrollo Tecnológico e Innovación*, 10(1), 29–42. <https://doi.org/10.23850/24628034.2687>
- Sosa, J. V. G., Quijada, J. L., Ontiveros, M. Á. L., Montoya, P. P., & Hernández, A. C. (2018). MANTENIMIENTO INDUSTRIAL EN MÁQUINAS HERRAMIENTAS POR MEDIO DE AMFE. *Revista Ingeniería Industrial*, 17(3), 209–225. <https://doi.org/10.22320/S07179103/2018.12>
- Superior, I., Antonio, P. J., Cuba, E., Riverón, H., & Nieto, G. (2007). Fabricación del dentado de engranajes cónicos helicoidales en fresadoras universales. *Ingeniería Mecánica*, 10(3), 41–45. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225115060006>
- Tchankova, L. (2002). Risk identification-basic stage in risk management. *Environmental Management and Health*, 13, 290–297.
- Toro-Ocampo, E. M., Franco-Baquero, J. F., & Gallego-Rendón, R. A. (2016). Modelo matemático para resolver el problema de localización y ruteo con restricciones de capacidad considerando flota propia y subcontratada. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(3), 357–369. <https://doi.org/10.1016/J.RIIT.2016.07.006>
- Useche, A. O., Monroy, C. R., & Izquierdo, H. (2013). Gestión de mantenimiento en pymes industriales. *Revista Venezolana de Gerencia*, 18(61), 86–104. <https://doi.org/10.37960/REVISTA.V18I61.11005>
- VELÁSQUEZ, E. I., & SÁNCHEZ, H. H. (2006). EL MODELO DE CONTROL RETROALIMENTADO COMO PARADIGMA EN LA ADMINISTRACIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL. *Scientia Et Technica*, XII(32), 219–224. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84911652039>
- Vera-Zambrano, R. A., & Torres-Rodríguez, R. (2021). Pautas de un programa de mantenimiento y su importancia en el proceso agroindustrial. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249., 4(8), 96–113. <https://doi.org/10.46296/IG.V4I8.0025>
- Vinicio Yanqui Avilés, M., Alexandra Quintana López, X., Telenchana, L., & Avilés, Y. (2024). Determinación de dependencia estadística de la temperatura de trabajo de rodamientos rígidos en procesos industriales mediante ANOVA en RStudio. *Conciencia Digital*, 7(1), 82–99. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v7i1.2904>
- Virós, L. (2013). Empresa e innovación tecnológica en el distrito industrial de Manresa durante el franquismo. Entre la copia, la adaptación y la creatividad. *Investigaciones de Historia Económica - Economic History Research*, 9(1), 22–31. <https://doi.org/10.1016/J.IHE.2012.09.002>
- Wakabayashi, J. L., & Merzthal, J. (2015). Directrices para la implementación de un modelo de gestión de la relación con el cliente en el sector industrial: caso DAMERA. *Estudios Gerenciales*, 31(137), 455–462. <https://doi.org/10.1016/J.ESTGER.2015.09.001>
- Yunta, F. G., & Rodrigo, S. G. (2019). Legal maintenance of residential buildings and the role of the building engineering graduate = Mantenimiento legal en los edificios de uso residencial y el papel del graduado en edificación. *Building & Management*, 3(1), 69–73. <https://doi.org/10.20868/BMA.2019.1.3878>



SANTIAGO ANDRÉS OTERO-POTOSÍ: Ingeniero en Mantenimiento Automotriz; Magister en Gestión de la Calidad en Educación; Master Universitario en Sistemas Integrados de Gestión; Doctor en Evaluación y Acreditación de Instituciones de Educación Superior.

<https://orcid.org/0000-0002-3823-9522>



© La presente Guía general de estudio de la asignatura de Mantenimiento Industrial de la Carrera de Seguridad y Prevención de Riesgos Laborales se deriva del proyecto de I+D del instituto Superior Tecnológico Liceo Aduanero denominado “Procesos de Gestión de Calidad en Instituciones de Educación Superior”.

Guía general de estudio de la asignatura de

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br




[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)





www.facebook.com/atenaeditora.com.br


Guía general de estudio de la asignatura de

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br


Año 2024