



**INSTITUTO SUPERIOR  
TECNOLÓGICO PELILEO**

**INNOVACIONES Y PRÁCTICAS EN  
CLIMATIZACIÓN, REFRIGERACIÓN  
Y MANTENIMIENTO  
ELECTROMECAÁNICO:  
MANUAL PARA EL PROFESIONAL  
ACTUAL**

---

Ing. Francisco Jara



**INSTITUTO SUPERIOR  
TECNOLÓGICO PELILEO**

# **MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO GUÍA DE ESTUDIO**

---

Ing. Francisco Jara



# MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO

## Francisco Jara

### Directorio editorial institucional

Dr. Rodrigo Mena Mg.    Rector  
Mg. Sandra Cando        Coordinadora Institucional  
Mg. Oscar Toapanta     Coordinador de I+D+i  
Ing. Johanna Iza        Líder de Publicaciones

### Diseño y diagramación

Mg. Belén Chávez  
Mg. Santiago Mayorga

### Revisión técnica de pares académicos

Nombre del Revisor 1: Ing. Cesar Pinto  
IST PELILEO

Correo: [cepinto@institutos.gob.ec](mailto:cepinto@institutos.gob.ec)

Nombre del Revisor 2: Ing. Johanna Iza, Mg  
IST PELILEO

Correo: [jeiza@institutos.gob.ec](mailto:jeiza@institutos.gob.ec)

ISBN: 978-9942-686-28-2

Primera edición

Agosto 2024

<https://istp.edu.ec>

Usted es libre de compartir, copiar la presente guía en cualquier medio o formato, citando la fuente, bajo los siguientes términos: Debe dar crédito de manera adecuada, bajo normas APA vigentes, fecha, página/s. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma arbitraria sin hacer uso de fines de lucro o propósitos comerciales; debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original. No puede aplicar restricciones digitales que limiten legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia

Esta obra está bajo una licencia internacional [licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)





# AUTOR



*Ing. Francisco Jara, Mg.*  
**DOCENTE**

Ingeniero Mecánico con experiencia en Mantenimiento, Producción y Gestión de Calidad

Soy un Ingeniero Mecánico con más de 10 años en la optimización de procesos industriales, enfocado en lograr la excelencia operativa en sectores clave como la industria. En mi gestión se ha caracterizado por la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo, garantizando la continuidad operativa y la máxima eficiencia de los equipos críticos en entornos exigentes.

Como Jefe de Producción en una empresa ensambladora de buses, lideré la reingeniería de procesos productivos, reduciendo tiempos de ciclo y mejorando la eficiencia general, lo que resultó en un incremento significativo en la capacidad de producción sin comprometer la calidad. Posteriormente, como Coordinador de Producción y Control de Calidad en otra ensambladora, implementé rigurosos sistemas de control de calidad y gestión de riesgos, alineados con estándares internacionales, logrando una notable reducción de fallas en los productos terminados y mejorando la satisfacción del cliente.

En el ámbito académico, desde 2017, he desempeñado un rol como docente en el Instituto Pelileo, en donde se imparten clases en la carrera de tecnología en electromecánica fomentando la excelencia y el desarrollo de competencias prácticas y la inserción laboral de mis estudiantes.

Además, como asesor de sistemas integrados de gestión de calidad bajo normativas ISO, he guiado a diversas empresas hacia la obtención de certificaciones internacionales, optimizando sus procesos internos para cumplir con los más altos estándares de calidad, seguridad y sostenibilidad. Mi asesoría ha permitido a estas organizaciones mejorar su competitividad en mercados altamente regulados, con un enfoque en la mejora continua y la innovación.

Con una combinación de experiencia técnica, liderazgo y un enfoque hacia la excelencia operativa, mi objetivo es seguir aportando soluciones innovadoras y sostenibles en el campo de la ingeniería y la gestión de calidad.

# PRÓLOGO

En la industria moderna, el mantenimiento electromecánico juega un papel crucial en la optimización y continuidad de los procesos productivos. La correcta identificación de fallos, junto con la implementación de soluciones efectivas, no solo asegura la eficiencia operativa, sino que también mejora la fiabilidad y disponibilidad de los equipos.

Esta guía está diseñado para formar tecnólogos capaces de enfrentar los desafíos técnicos del mantenimiento, con una sólida combinación de teoría y práctica.

En la Unidad 1 introduce los fundamentos del mantenimiento electromecánico, desde los tipos y finalidad del mantenimiento hasta el análisis de fallas y el uso de herramientas especializadas. Los estudiantes aprenderán a diagnosticar problemas en máquinas eléctricas y válvulas electromagnéticas, lo que les permitirá aportar mejoras sustanciales en su trabajo.

En la Unidad 2, el enfoque en el análisis de vibraciones y la alineación de motores eléctricos refuerza habilidades clave para prevenir y corregir problemas mecánicos.

La Unidad 3 profundiza en la lubricación industrial, un tema fundamental para el cuidado y prolongación de la vida útil de los equipos.

Finalmente, la Unidad 4 se centra en la planificación y ejecución de programas de mantenimiento, proporcionando al tecnólogo herramientas esenciales para la organización de actividades, la gestión de repuestos y la optimización de recursos.

Este curso ofrece una formación integral, preparando a los tecnólogos para enfrentar las demandas del campo laboral con un enfoque práctico que les permitirá contribuir significativamente en cualquier entorno industrial, garantizando la eficiencia y la sostenibilidad de los sistemas electromecánicos..





**INSTITUTO SUPERIOR  
TECNOLÓGICO PELILEO**

# **TOMO 1: MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO**

---

Ing. Francisco Jara



# CONTENIDO

## 01

### CAPÍTULO UNO

1

INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO .....	1
1.1.1 Definición de Mantenimiento .....	1
1.1.2 Categorización del mantenimiento .....	1
1.1.3 Mantenimiento Centrado en el Mejoramiento (impulsado por la fiabilidad) .....	1
1.1.4 Mantenimiento Preventivo (impulsado por el equipo): .....	4
1.1.5 Mantenimiento Correctivo (impulsado por eventos): .....	6
1.1.6 Tipos de Mantenimiento .....	8
1.1.7 Aspectos distintivos de cada Mantenimiento .....	9
1.1.8 Casos de estudio. ....	11
IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL .....	12
1.2.1 Estrategias de Mantenimiento Industrial. ....	12
VARIABLES DEL MANTENIMIENTO .....	14
FIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD EN LA INDUSTRIA .....	16
1.4.1 Fiabilidad .....	16
1.4.2 Mantenibilidad .....	16
1.4.3 Disponibilidad .....	17
LAS FALLAS, CLASIFICACIÓN, IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS FALLAS .....	19
1.5.1 Clasificación de Fallas .....	19
1.5.2 Identificación y Análisis de Fallas .....	19
HERRAMIENTAS Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL .....	21
1.6.1 Introducción a los Ensayos No Destructivos en el Mantenimiento Industrial .....	21
1.6.2 Técnicas de Ensayos No Destructivos .....	21
1.6.3 Aplicaciones específicas de cada técnica en el Mantenimiento Industrial .....	21
1.6.4 Procedimientos y Normativas para la Realización de Ensayos No Destructivos .....	22
1.6.5 Integración de Ensayos No Destructivos en Programas de Mantenimiento .....	22
1.6.6 Capacitación y Certificación del Personal .....	22
1.6.7 Tendencias y Avances Tecnológicos .....	22
MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y VÁLVULAS ELECTROMAGNÉTICAS .....	23
1.7.1 Introducción al Mantenimiento de Máquinas Eléctricas: .....	23
1.7.2 Tipos de Máquinas Eléctricas .....	23
1.7.3 Importancia del Mantenimiento Preventivo: .....	23
1.7.4 Técnicas de Mantenimiento Predictivo: .....	23
1.7.5 Mantenimiento Correctivo y Reparación: .....	24
1.7.6 Consideraciones Ambientales y de Sostenibilidad: .....	24
1.7.7 Introducción al Mantenimiento de Válvulas Electromagnéticas: .....	24



CUESTIONARIO 1 .....	26
----------------------	----

## 02

### **CAPÍTULO DOS 29**

ANÁLISIS DE VIBRACIONES .....	29
2.1.1 Introducción .....	29
2.1.2 Fundamentos de la Vibración Mecánica.....	29
2.1.3 Técnicas de Medición y Análisis de Vibraciones .....	29
2.1.4 Diagnóstico de Problemas mediante Vibraciones.....	30
2.1.5 Estrategias de Mitigación de Vibraciones .....	31
2.1.6 Alineación de Motores Eléctricos .....	31
2.1.7 Principios de Alineación de Motores .....	32
2.1.8 Métodos de Alineación .....	32
2.1.9 Proceso de Alineación Paso a Paso .....	32
2.1.10 Matrimonios para Transmisión de Movimientos.....	33
CUESTIONARIO 2.....	38

## 03

### **CAPÍTULO TRES 42**

LUBRICACIÓN INDUSTRIAL .....	42
<b>3.1.1 Introducción .....</b>	<b>42</b>
<b>3.1.2 Propiedades y Tipos de Lubricantes .....</b>	<b>42</b>
<b>3.1.3 Propiedades de los lubricantes: .....</b>	<b>42</b>
<b>3.1.4 Tipos de Lubricantes: .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1.5 Métodos de Aplicación de Lubricantes .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1.6 Selección y Mantenimiento de Lubricantes .....</b>	<b>44</b>
<b>3.1.7 Diagnóstico y Resolución de Problemas de Lubricación .....</b>	<b>44</b>
CUESTIONARIO 3.....	47

## 04

### **CAPÍTULO CUATRO 50**

PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO .....	50
4.1.1 Introducción .....	50
4.1.2 Importancia Estratégica de la Planificación en el Mantenimiento Preventivo:.....	50
4.1.3 Herramientas y Técnicas Avanzadas de Planificación: .....	51
4.1.4 Integración Integral con la Gestión de Activos: .....	52
4.1.5 Evaluación de Riesgos y Estrategias de Priorización: .....	52
4.1.6 Planificación Estratégica de Paradas de Planta: .....	53
MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) .....	55
4.2.1 Introducción al TPM .....	55
4.2.2 Los ocho pilares del TPM.....	55
4.2.3 Métodos y herramientas clave del TPM .....	56
4.2.4 Implementación del TPM paso a paso.....	56
4.2.5 Medición y seguimiento del rendimiento TPM .....	56
4.2.6 Integración del TPM con otras metodologías .....	56
4.2.7 Desafíos comunes en la implementación del TPM.....	57
4.2.8 Tendencias futuras y evolución del TPM.....	57



GESTIÓN DE REPUESTOS .....	58
4.3.1 Introducción .....	58
4.3.2 Clasificación de Repuestos Críticos, Mínimos y Máximos .....	58
4.3.3 Métodos de Pronóstico de Demanda para Repuestos.....	59
4.3.4 Estrategias para Optimizar el Inventario de Repuestos .....	59
4.3.5 Implementación de Sistemas de Gestión de Repuestos .....	60
4.3.6 Rol de la Logística en la Gestión de Repuestos .....	60
4.3.7 Análisis de Costos en la Gestión de Repuestos .....	60
4.3.8 Tecnologías Emergentes en la Gestión de Repuestos .....	61
4.3.9 Capacitación y Desarrollo en Gestión de Repuestos.....	61

## 05

### **CAPÍTULO CINCO** **70**

FUNDAMENTOS DE REFRIGERACIÓN.....	70
5.1.1 Introducción .....	70
5.1.2 Principios Básicos de la Termodinámica Aplicados a la Refrigeración.....	70
5.1.3 Ciclo Termodinámico .....	71
5.1.4 Ciclo de Refrigeración por Compresión de Vapor .....	71
5.1.5 Ciclos Reales de Refrigeración por Compresión .....	73
5.1.6 Ciclos de Refrigeración de Doble Etapa y Cascada .....	74
5.1.7 Ciclo de Absorción .....	74
5.1.8 Cálculo de la Potencia Frigorífica.....	75
5.1.9 Selección de Equipos de Refrigeración .....	76
5.1.10 Propiedades Físico-Químicas de los Refrigerantes .....	76
5.1.11 Casos de estudio. ....	78
CUESTIONARIO 1 .....	81

## 06

### **CAPÍTULO SEIS** **84**

AIRE ACONDICIONADO .....	84
6.1.1 Introducción .....	84
6.1.2 Componentes de la carta psicrométrica .....	84
6.1.3 Proceso de enfriamiento sensible .....	85
6.1.4 Proceso de calentamiento sensible.....	86
6.1.5 Proceso de enfriamiento - deshumidificación .....	86
6.1.6 Proceso de enfriamiento-humidificación.....	87
6.1.7 Proceso de calentamiento .....	87
6.1.8 CASOS DE ESTUDIO .....	89
CUESTIONARIO 2.....	93

## 07

### **CAPÍTULO SIETE** **96**

NORMAS Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO .....	96
7.1.1 Introducción .....	96
7.1.2 Normas NOM para Equipos de Refrigeración .....	96
7.1.3 Normas NOM de Equipos para Instalaciones Diversas .....	97
7.1.4 Tipos de Sistemas de Aire Acondicionado .....	97



7.1.5 Selección de Equipo de Enfriamiento .....	98
7.1.6 Selección de Accesorios .....	98
7.1.7 Mantenimiento de Equipos de Refrigeración y Aire Acondicionado .....	98
7.1.8 Impacto Ambiental y Eficiencia Energética.....	98
7.1.9 Errores Comunes en la Selección .....	99
7.1.10 CASOS DE ESTUDIOS .....	100
CUESTIONARIO 3.....	104



# 01

## **INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO MECÁNICO**

---

# CAPÍTULO UNO

## INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO

### Generalidades



#### 1.1.1 Definición de Mantenimiento

El mantenimiento industrial es un conjunto de acciones planificadas y sistemáticas encaminadas a garantizar la disponibilidad, confiabilidad y rendimiento óptimo de los equipos y maquinaria utilizados en un entorno de fabricación.

En este contexto, los tecnólogos electromecánicos desempeñan un papel importante en la implementación y gestión efectiva de las actividades de mantenimiento.

1. Mantenimiento centrado en el mejoramiento (impulsado por la fiabilidad).
2. Mantenimiento preventivo (impulsado por el equipo).
3. Mantenimiento correctivo (impulsado por eventos).

Una vez reconocidos los tres grupos detallaremos correspondientemente los mismos.

#### 1.1.3 Mantenimiento Centrado en el Mejoramiento (impulsado por la fiabilidad)

Descripción

Este enfoque se centra en mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos mediante la aplicación de estrategias proactivas y predictivas. Se basa en identificar posibles modos de falla y tomar acciones para prevenir o minimizar su impacto.

#### 1.1.2 Categorización del mantenimiento

Para poder identificarlos de mejor manera los clasificaremos bajo tres criterios:



Características:

- ✓ Utiliza técnicas de análisis de confiabilidad y riesgos para identificar las áreas críticas y las causas potenciales de falla.
- ✓ Se centra en la prevención de fallas mediante la aplicación de acciones de mantenimiento predictivo y preventivo.
- ✓ Busca mejorar continuamente la confiabilidad y rendimiento de los activos, reduciendo así el tiempo de inactividad no planificado y aumentando la productividad.

**Mantenimientos que pueden incluirse por este criterio:**

- Mantenimiento Predictivo:

Basado en la predicción de fallas mediante el monitoreo de parámetros claves.

Este tipo de mantenimiento implica la monitorización de los equipos utilizando técnicas como análisis de vibraciones, termografía, análisis de lubricantes, entre otros. Se basa en indicadores específicos que predicen el momento adecuado para realizar intervenciones de mantenimiento, minimizando así el riesgo de fallos inesperados y maximizando la eficiencia operativa de los activos

- Mantenimiento Basado en la Condición:

Se realizan inspecciones y pruebas para determinar el estado de los equipos.

Aquí se evalúa el estado de los equipos mediante inspecciones periódicas y pruebas, como

mediciones de temperatura, presión, vibración, entre otras. Se establecen criterios de referencia que indican si un equipo está funcionando dentro de los parámetros aceptables, permitiendo tomar decisiones de mantenimiento según la situación real de cada activo.

- Mantenimiento Analítico:

Utiliza análisis de datos y estadísticas para identificar patrones y tendencias.

Este enfoque incluye un análisis detallado de datos históricos y de desempeño para identificar tendencias, patrones y posibles problemas futuros.

Se utilizan herramientas estadísticas y de análisis de datos para desarrollar modelos predictivos y tomar decisiones informadas sobre la planificación del mantenimiento y la gestión de activos.

- Mantenimiento Modificadorio:

El mantenimiento modificadorio se enfoca en realizar cambios programados en los equipos, instalaciones o procesos actuales para mejorar su rendimiento, eficiencia y funcionalidad. En lugar de solo mantener los activos como están, este tipo de mantenimiento busca optimizar su funcionamiento y adaptarlo a las necesidades cambiantes del negocio.

Los cambios realizados durante el mantenimiento modificadorio pueden abarcar la actualización de componentes obsoletos, la adopción de nuevas tecnologías, la mejora de procesos, la reorganización de sistemas o la implementación de mejoras en el diseño.



Estas modificaciones pueden ser motivadas por varios factores, como cambios en los requisitos de producción, avances tecnológicos, actualizaciones normativas o la necesidad de mejorar la eficiencia, competitividad y seguridad del equipo de la empresa.

- TPM (Total Productive Maintenance):

Su enfoque principal es la constante mejora de la eficiencia de los equipos y la disminución de las pérdidas.

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una estrategia de mantenimiento que se orienta en la participación de los operadores y el personal de mantenimiento para mejorar la eficiencia y confiabilidad de los equipos.

Esto implica que tanto los operadores como el personal de mantenimiento trabajen en conjunto para mantener los equipos en condiciones óptimas.

Dentro del TPM se incluyen actividades como limpieza, inspección, lubricación y mantenimiento autónomo realizadas por los operadores. Esto significa que los operadores asumen la responsabilidad de llevar a cabo tareas de mantenimiento básicas en sus equipos, lo que ayuda a prevenir problemas y a mantener un funcionamiento óptimo.

Además, el TPM también implica el desarrollo de una cultura de mejora continua, lo que significa que se fomenta la identificación y solución proactiva de problemas. También se busca la eliminación de pérdidas en los procesos productivos, lo que puede incluir la reducción del tiempo de inactividad, la disminución de

defectos en la producción y la optimización de los recursos.

En resumen, el TPM es una estrategia que busca involucrar a todo el personal en la tarea de mantener los equipos en óptimas condiciones, promoviendo la eficiencia, la confiabilidad y la mejora continua en los procesos productivos.

- RCM (Reliability Centered Maintenance):

Identifica y prioriza las actividades de mantenimiento para maximizar la confiabilidad de los equipos.

El RCM es una metodología sistemática que se utiliza para identificar las estrategias de mantenimiento más eficientes y efectivas para cada equipo o sistema.

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad se fundamenta en el análisis de las funciones y modos de fallo de los equipos.

Su propósito es identificar las actividades de mantenimiento que maximizan la confiabilidad operativa y minimizan los riesgos vinculados a los fallos. Esto implica examinar minuciosamente el funcionamiento de un equipo, identificar sus posibles modos de fallo y desarrollar un plan de mantenimiento adecuado para prevenir o mitigar estos fallos.

En resumen, el RCM busca optimizar la gestión del mantenimiento para asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, al mismo tiempo que reduce los costos asociados con el mantenimiento y las paradas no programadas.

- Mantenimiento Progresivo:

El mantenimiento progresivo consiste en la mejora continua de los procesos y estrategias de mantenimiento a lo largo del tiempo, mediante la incorporación de nuevos conocimientos, tecnologías y prácticas para optimizar el rendimiento y la confiabilidad de los equipos. El enfoque principal es buscar constantemente formas de mejorar la eficiencia y reducir los costos de mantenimiento. Este tipo de mantenimiento se enfoca en la evolución y mejora constante de las prácticas de mantenimiento para adaptarse a las necesidades cambiantes de la industria y maximizar el rendimiento de los equipos.

Este criterio relacionado al mantenimiento centrado en el mejoramiento tiene los siguientes puntos a tomar en cuenta:

a) Ventajas:

- Aborda problemas potenciales antes de que ocurran.
- Aumenta la durabilidad de los equipos.
- Disminuye el tiempo de inactividad imprevisto.
- Mayor fiabilidad y disponibilidad de los equipos.
- colaboración
- en equipo.

d) Limitaciones:

- Dependencia de datos de calidad.
- Puede ser difícil de implementar en organizaciones con una cultura resistente al cambio.
- Requiere una planificación y coordinación cuidadosas para garantizar la efectividad a largo plazo.

- Reducción del tiempo de inactividad no planificado.
- Optimización de los recursos y costos de mantenimiento.
- Mejora continua de los procesos y la eficiencia operativa

b) Desventajas:

- Requiere una inversión inicial significativa en tecnología y capacitación.
- Interpretación incorrecta de los datos.
- Dependencia de datos precisos y sistemas de monitoreo confiables.
- Necesidad de un compromiso organizacional y cultural para el cambio.

c) Recomendaciones:

- Establecer programas de monitoreo efectivos.
- Capacitar al personal en técnicas de mantenimiento predictivo y análisis de fallas.
- Integrar el mantenimiento centrado en el mejoramiento en la estrategia general de gestión de activos.
- Promover una mentalidad de constante mejora y
- No es adecuado para todos los tipos de equipos y situaciones operativas.

#### **1.1.4 Mantenimiento Preventivo (impulsado por el equipo):**

##### Descripción

El Mantenimiento Preventivo impulsado por el equipo se centra en la realización de actividades de mantenimiento planificadas con el

objetivo de prevenir fallas y prolongar la vida útil de los equipos.

Este enfoque se basa en la inspección regular, limpieza, lubricación y ajustes programados para garantizar que los equipos se mantengan en óptimas condiciones de funcionamiento.

En resumen, se trata de llevar a cabo acciones preventivas de manera proactiva para evitar problemas futuros y maximizar la eficiencia de los equipos.

#### Características

- ✓ Se basa en la programación de actividades de mantenimiento según intervalos de tiempo o uso.
- ✓ Incluye inspecciones visuales, pruebas funcionales y reemplazo de componentes según el desgaste esperado.
- ✓ Tiene como objetivo identificar y corregir problemas potenciales antes de que causen fallas mayores.

#### **Mantenimientos que pueden incluirse por este criterio**

##### - Mantenimiento Programado:

Se realizan actividades de mantenimiento en intervalos regulares.

Consiste en llevar a cabo actividades de mantenimiento en intervalos regulares o planificados, independientemente del estado real de los equipos. Se basa en calendarios predefinidos y pautas de mantenimiento establecidas por el fabricante o las mejores prácticas de la industria

##### - Mantenimiento Periódico:

El mantenimiento periódico consiste en realizar inspecciones y tareas de mantenimiento en intervalos específicos de tiempo.

Este tipo de mantenimiento se distingue por llevar a cabo actividades de inspección, revisión y mantenimiento de forma regular y planificada, siguiendo un calendario preestablecido. El objetivo principal del mantenimiento periódico es evitar la ocurrencia de fallos y asegurar el funcionamiento óptimo de los equipos y sistemas a lo largo del tiempo.

##### - Mantenimiento Contingente:

Se programa en respuesta a eventos o condiciones específicas.

Se basa en la observación y seguimiento continuo de los equipos para detectar signos de desgaste, fallos inminentes o problemas operativos que requieren atención inmediata.

Este tipo de mantenimiento se programa en función de eventos o condiciones operativas particulares.

##### - Mantenimiento Rutinario:

Se llevan a cabo tareas de mantenimiento estándar según un horario establecido

Este tipo de mantenimiento implica llevar a cabo inspecciones y cuidados de forma regular y repetitiva para asegurar que los equipos y sistemas funcionen de manera óptima. El mantenimiento programado se distingue por ser planificado y realizado periódicamente, siguiendo procedimientos establecidos y sin la necesidad de identificar averías o fallas específicas.

- Mantenimiento Proactivo:

El mantenimiento proactivo implica detectar y solucionar posibles problemas antes de que se conviertan en fallas reales.

Se basa en la detección temprana de problemas potenciales y en la implementación de medidas correctivas para evitar que se produzcan.

Esto se logra mediante el análisis de datos y el seguimiento de indicadores clave de rendimiento, lo que permite tomar medidas preventivas para mejorar la confiabilidad de los equipos. En lugar de simplemente reaccionar ante las fallas una vez que ocurren, este tipo de mantenimiento busca anticipar y prevenir problemas en los equipos y sistemas.

- Mantenimiento Autónomo:

El Mantenimiento Autónomo implica que los operadores se encarguen de realizar labores de mantenimiento preventivo en sus propias áreas de trabajo, como inspecciones visuales, limpieza, lubricación y ajustes menores. Esto fomenta la participación del personal en la gestión de activos y mejora la eficiencia operativa.

Este criterio relacionado al Mantenimiento Preventivo (impulsado por el equipo) es importante considerar los siguientes puntos:

a) Ventajas:

- Evita averías y minimiza el riesgo de paradas no programadas.

- Aumenta la durabilidad de los equipos y disminuye los gastos de mantenimiento.
- Ofrece una planificación más precisa para las tareas de mantenimiento.

b) Desventajas:

- Puede llevar a un exceso de gastos y mantenimiento no requerido.
- No siempre es eficaz en la prevención de todas las fallas.
- Puede no detectar problemas que solo pueden identificarse a través de enfoques más proactivos.

c) Recomendaciones:

- Utilizar datos históricos y análisis de fallas para determinar la frecuencia y el alcance adecuados.
- Implementar un sistema de gestión de mantenimiento eficaz.
- Realizar una revisión periódica de las estrategias de mantenimiento.

d) Limitaciones:

- Puede ser costoso implementar y mantener.
- No garantiza la detección de todas las fallas potenciales.

### 1.1.5 Mantenimiento Correctivo (impulsado por eventos):

Descripción:

Este enfoque se activa en respuesta a fallas o eventos inesperados en los equipos. Su objetivo principal es restaurar la funcionalidad y operatividad de los activos lo más rápido posible para minimizar el

tiempo de inactividad y los impactos negativos en la producción.

Características:

- ✓ Se lleva a cabo en respuesta a eventos específicos o condiciones operativas que indican la necesidad de intervención.
- ✓ Puede planificarse (cuando se anticipa una falla) o no planificado (cuando ocurre una falla inesperada).
- ✓ Involucra reparaciones, ajustes y reemplazos de componentes para restablecer el funcionamiento adecuado de los equipos.

#### **Mantenimientos que pueden incluirse por este criterio**

- Mantenimiento Correctivo Técnico:

Se realiza para corregir fallas identificadas durante la operación normal del equipo.

Se realiza para corregir fallas identificadas durante la operación normal del equipo, generalmente por personal técnico especializado. Incluye reparaciones, ajustes y reemplazos de componentes para restaurar el funcionamiento adecuado de los activos.

- Mantenimiento Correctivo Proactivo (correctivo):

Se lleva a cabo para abordar problemas detectados durante inspecciones programadas o mantenimiento preventivo.

Este tipo de mantenimiento implica abordar los problemas detectados antes de que se conviertan en fallos catastróficos. Puede incluir la reparación o sustitución de componentes desgastados, la

corrección de defectos de diseño y la implementación de mejoras para prevenir futuras fallas.

- Mantenimiento Correctivo Autónomo (correctivo):

Los propios operadores realizan reparaciones y ajustes menores.

Los operadores realizan reparaciones y ajustes menores como parte de sus responsabilidades diarias, en respuesta a problemas identificados durante la operación normal. Esto puede incluir acciones simples como limpieza, lubricación y ajustes de parámetros.

Este criterio relacionado al Mantenimiento Correctivo (impulsado por eventos), tiene los siguientes puntos a tomar en cuenta:

#### a) Ventajas:

- Permite restaurar la funcionalidad rápidamente después de una falla.
- Puede ser más rentable que el mantenimiento preventivo en algunos casos.
- Proporciona flexibilidad para adaptarse a cambios imprevistos en las condiciones operativas.

#### b) Desventajas:

- Puede resultar en costos adicionales.
- No aborda las causas subyacentes de las fallas.
- Puede ser menos efectivo para prevenir daños mayores.
- Puede resultar en costos adicionales debido al tiempo de inactividad y las reparaciones.
- Puede ser menos efectivo para prevenir futuras fallas en

comparación con enfoques más proactivos.

c) Recomendaciones:

- Priorizar las acciones de mantenimiento correctivo según su impacto en la producción y la seguridad.
- Implementar estrategias de mantenimiento predictivo y preventivo para prevenir la recurrencia de las fallas.
- Realizar un análisis de causa raíz para identificar y abordar las causas subyacentes de las fallas.

d) Limitaciones:

- Puede resultar en una mayor dependencia de la reactividad.
- No es adecuado para equipos críticos o procesos donde el tiempo de inactividad puede tener consecuencias graves.
- Puede conducir a un ciclo de reparación continua si no se abordan las causas fundamentales.
- No es adecuado como estrategia exclusiva de mantenimiento, ya que no previene todas las fallas.

## 1.1.6 Tipos de Mantenimiento

### 1.1.6.1 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo implica la reparación de equipos y maquinaria después de que se ha producido una falla o avería. Para los técnicos electromecánicos, esto implica intervenir rápidamente para solucionar problemas y minimizar el tiempo de inactividad en la producción. Ejemplos de mantenimiento correctivo incluyen la

sustitución de componentes dañados o la reparación de fallos inesperados en la maquinaria.

### 1.1.6.2 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es una estrategia planificada que involucra la realización de actividades de mantenimiento programadas con el propósito de evitar que los equipos presenten fallos o averías.

Los técnicos electromecánicos llevan a cabo inspecciones periódicas, lubricación, ajustes y reemplazo de piezas desgastadas como parte del mantenimiento preventivo para asegurar el funcionamiento óptimo de los equipos y prevenir posibles problemas en el futuro.

### 1.1.6.3 Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo se basa en el uso de datos y tecnología para anticipar posibles fallas en un equipo, lo que permite tomar medidas preventivas antes de que ocurran.

Los técnicos especializados en electromecánica emplean diferentes métodos de monitoreo, como el análisis de vibraciones y la termografía, para detectar signos tempranos de posibles problemas y aplicar soluciones antes de que se generen costosas averías.

### 1.1.6.4 Mantenimiento Proactivo

El mantenimiento proactivo consiste en anticipar y solucionar posibles problemas antes de que se presenten, en lugar de solo reaccionar ante las fallas una vez que suceden. Los técnicos electromecánicos adoptan un enfoque proactivo al vigilar continuamente el desempeño de los equipos, identificar áreas de riesgo y



tomar medidas preventivas para evitar cualquier posible fallo.

#### 1.1.6.5 TPM (Mantenimiento Productivo Total)

El TPM es un enfoque de gestión que tiene como objetivo optimizar el rendimiento de los equipos mediante la participación de los empleados en todas las fases del ciclo de vida de los activos.

Los técnicos electromecánicos juegan un papel fundamental en la aplicación de prácticas de mantenimiento autónomo, planificado y en equipo con el fin de mejorar la disponibilidad operativa y la calidad del producto.

#### 1.1.6.6 RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad)

El RCM es un enfoque estructurado para crear programas de mantenimiento que garanticen el funcionamiento continuo de sistemas y equipos en su entorno operativo. Los técnicos electromecánicos utilizan el RCM para identificar las funciones críticas de los equipos, analizar posibles modos de falla y priorizar estrategias de mantenimiento efectivas para prevenir o reducir dichas fallas.

#### 1.1.7 Aspectos distintivos de cada Mantenimiento

##### ❖ Mantenimiento Correctivo:

- Reacciona ante una falla o avería existente en el equipo.
- No se planifica previamente y puede resultar en tiempos de inactividad no planificados.
- Se centra en restaurar la funcionalidad del equipo lo más rápido posible para minimizar el impacto en la producción.

- Puede ser costoso debido a la necesidad de reemplazar componentes dañados y reparar averías.

##### ❖ Mantenimiento Preventivo:

- Se lleva a cabo de manera programada y regular, independientemente del estado del equipo.
- Tiene como objetivo prevenir la ocurrencia de fallas y mantener el equipo en condiciones óptimas de funcionamiento.
- Incluye actividades como inspecciones periódicas, lubricación, ajustes y reemplazo de piezas de desgaste.
- Ayuda a prolongar la vida útil del equipo y a reducir los costos asociados con las reparaciones correctivas.

##### ❖ Mantenimiento Predictivo:

- Utiliza datos y tecnología para predecir cuándo ocurrirá una falla en el equipo.
- Se basa en técnicas de monitoreo como análisis de vibraciones, termografía y análisis de aceite.
- Permite planificar y programar actividades de mantenimiento de manera más eficiente, minimizando el tiempo de inactividad y los costos asociados.

##### ❖ Mantenimiento Proactivo:

- Se enfoca en identificar y abordar problemas potenciales antes de que ocurran.
- Involucra la implementación de mejoras en el diseño, modificaciones en los procedimientos operativos y la sustitución de componentes antes de que fallen.
- Ayuda a prevenir fallas y a mejorar la confiabilidad del equipo a largo plazo.

❖ TPM (Mantenimiento Productivo Total):

- Se centra en maximizar la eficiencia de los equipos a través de la participación activa de los empleados.

- Involucra prácticas de mantenimiento autónomo, planificado y en equipo para mejorar la disponibilidad operativa y la calidad del producto.

- Promueve la mejora continua y la prevención de pérdidas en todas las áreas de la operación.

❖ RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad):

- Identifica las funciones críticas de los equipos y analiza los modos de falla potenciales.

- Prioriza las estrategias de mantenimiento más efectivas para prevenir o mitigar esas fallas.

- Ayuda a maximizar la confiabilidad operativa y a minimizar los riesgos asociados con la operación de equipos industriales.

### 1.1.7.1 Importancia del Mantenimiento para Técnicos Electromecánicos

La importancia del mantenimiento adecuado para los técnicos electromecánicos en entornos industriales es innegable. Estos profesionales son responsables de garantizar que los equipos y maquinaria funcionen de manera óptima, lo que contribuye directamente a la productividad y rentabilidad de la empresa. Además, un mantenimiento eficiente ayuda a prevenir accidentes laborales y a mantener un entorno de trabajo seguro.

### 1.1.8 Casos de estudio.

1. Aplicación del Mantenimiento Predictivo en una Planta de Producción:



En una planta, los técnicos electromecánicos implementaron un programa de mantenimiento predictivo utilizando análisis de vibraciones para monitorear el estado de los equipos rotativos. Gracias a esta iniciativa, se logró prevenir varias fallas catastróficas y reducir significativamente el tiempo de inactividad no planificado.

2. Implementación del TPM en una Línea de Ensamblaje Automatizada:



En esta línea de ensamblaje, los técnicos electromecánicos lideraron la implementación del TPM, involucrando a los operadores en el mantenimiento autónomo de los equipos. Como resultado, se logró aumentar la eficiencia de la línea y reducir los tiempos de ajuste, mejorando la competitividad de la empresa.

## IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



El principal objetivo del mantenimiento industrial es asegurar que los equipos en entornos industriales estén disponibles, sean confiables y tengan un rendimiento óptimo.

Al mantener los equipos en condiciones operativas óptimas, las empresas pueden minimizar los tiempos de inactividad no planificados, reducir los costos de reparación y mejorar la eficiencia operativa en general. Además, el mantenimiento industrial juega un papel crucial en la seguridad laboral, la protección del medio ambiente y la sostenibilidad de las operaciones industriales.

### 1.2.1 Estrategias de Mantenimiento Industrial.

Las empresas tienen a su disposición diversas estrategias de mantenimiento para garantizar el rendimiento óptimo de sus equipos.

Estas estrategias incluyen el mantenimiento preventivo, el mantenimiento correctivo, el mantenimiento predictivo y el mantenimiento proactivo.

Cada estrategia tiene sus propias ventajas y aplicaciones, y la elección dependerá de factores como el tipo de equipo, su importancia y los recursos disponibles.

#### Herramientas y Tecnologías en el Mantenimiento Industrial

El mantenimiento industrial ha evolucionado gracias al uso de herramientas y tecnologías avanzadas que mejoran su eficacia y eficiencia. Entre estas herramientas se encuentran los sistemas de gestión de mantenimiento asistido por computadora (CMMS), sensores de monitoreo remoto, análisis de datos de mantenimiento, tecnologías de realidad aumentada y sistemas de mantenimiento predictivo basados en inteligencia artificial.

Estas herramientas permiten a las empresas optimizar sus programas de mantenimiento, predecir fallas en los equipos y tomar decisiones informadas sobre la gestión de activos.

#### Sostenibilidad en el Mantenimiento Industrial

El mantenimiento industrial juega un papel crucial en la promoción de la



sostenibilidad y la responsabilidad ambiental en las operaciones industriales. Al implementar prácticas de mantenimiento sostenible, como el uso de energías renovables, la gestión eficiente de residuos y el mantenimiento preventivo, las empresas pueden reducir su impacto ambiental y contribuir al desarrollo sostenible. Además, al incorporar consideraciones de sostenibilidad en sus programas de mantenimiento, las empresas pueden mejorar su reputación corporativa y cumplir con las expectativas de los diferentes grupos de interés.

Para los profesionales del mantenimiento, el desarrollo profesional es esencial para mantenerse al tanto de las últimas tendencias y tecnologías en el campo. Esto implica participar en cursos de formación y obtener certificaciones, asistir a conferencias y seminarios, y buscar oportunidades de aprendizaje continuo. También es crucial desarrollar habilidades interpersonales, como la comunicación efectiva y el trabajo en equipo, que son fundamentales para el éxito en el mantenimiento industrial.

## VARIABLES DEL MANTENIMIENTO



La naturaleza y complejidad del equipo o instalación industrial pueden influir en las estrategias de mantenimiento requeridas. Por ejemplo, el mantenimiento de equipos de alta precisión como máquinas CNC puede requerir enfoques específicos y protocolos más rigurosos en comparación con equipos más simples.

Entre las variables que pueden existir en el mantenimiento podemos describir los siguientes:

- 1 Entorno Operativo: El entorno en el que opera el equipo industrial también es una variable importante. Por ejemplo, los equipos que operan en entornos corrosivos, como plantas químicas o áreas costeras, pueden requerir mantenimiento adicional para protegerlos contra la corrosión y el desgaste prematuro.
- 2 Tecnología Utilizada: La tecnología empleada en el equipo industrial, como sensores, sistemas de monitoreo en tiempo real o sistemas de control automatizado, puede afectar las estrategias de mantenimiento. El mantenimiento predictivo, por ejemplo, puede ser más efectivo cuando se utiliza tecnología de monitoreo avanzada para detectar señales tempranas de fallas.
- 3 Historial de Mantenimiento: El historial de mantenimiento de un equipo o instalación puede proporcionar información valiosa sobre patrones de fallas, tiempos de inactividad pasados y la efectividad de las estrategias de mantenimiento anteriores. El análisis de este historial puede ayudar a mejorar la planificación y ejecución de futuras actividades de mantenimiento.
- 4 Disponibilidad de Repuestos y Recursos: La disponibilidad de repuestos y recursos necesarios para llevar a cabo las actividades de



- mantenimiento es crucial. La gestión eficiente de inventarios de repuestos y la planificación adecuada de los recursos humanos y materiales pueden garantizar una ejecución efectiva del mantenimiento.
- 5 Condiciones de Operación: Las condiciones de operación, como la carga de trabajo, la velocidad de producción y los ciclos de trabajo, pueden afectar la frecuencia y la intensidad de las actividades de mantenimiento requeridas. Un mayor uso o condiciones de operación más exigentes pueden requerir un mantenimiento más frecuente y riguroso.
  - 6 Seguridad y Salud Ocupacional: La seguridad y la salud ocupacional son consideraciones críticas en el mantenimiento industrial. Las prácticas de mantenimiento deben cumplir con los estándares de seguridad establecidos y garantizar la protección de los trabajadores contra posibles riesgos y accidentes laborales.
  - 7 Tendencias Tecnológicas y Avances Industriales: Las tendencias tecnológicas y los avances en la industria pueden influir en las estrategias de mantenimiento. La adopción de nuevas tecnologías, como el Internet de las cosas (IoT) o la inteligencia artificial (IA), puede ofrecer oportunidades para mejorar la eficiencia y la efectividad del mantenimiento.
  - 8 Costos y Presupuesto: Los costos asociados con las actividades de mantenimiento, incluidos los costos de mano de obra, materiales y equipos, deben ser cuidadosamente gestionados dentro del presupuesto asignado. La optimización de los costos de mantenimiento sin comprometer la calidad y la seguridad es esencial para la gestión efectiva del mantenimiento industrial.

# FIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD EN LA INDUSTRIA



## 1.4.1 Fiabilidad

La fiabilidad se refiere a la probabilidad de que un sistema o componente funcione correctamente durante un período de tiempo específico y bajo condiciones de operación determinadas.

Se expresa generalmente como un porcentaje y representa la confianza en que un sistema o componente no experimentará fallos.

- La fórmula básica para calcular la fiabilidad es:

$$\text{Fiabilidad} = (\text{Tiempo de funcionamiento}) / (\text{Tiempo total})$$

Donde:

Tiempo de funcionamiento: tiempo durante el cual el sistema o componente está operativo sin fallos.

Tiempo total: tiempo total de observación o período de estudio.

## 1.4.2 Mantenibilidad

La mantenibilidad se refiere a la capacidad de un sistema o componente para repararse o para restaurarse a un estado operativo después de experimentar un fallo.

Implica la facilidad y eficiencia con la que se pueden llevar a cabo las actividades de mantenimiento, reparación y reemplazo.

- La fórmula básica para calcular la mantenibilidad es:

$$\text{Mantenibilidad} = (\text{Tiempo de reparación}) / (\text{Tiempo total de reparación})$$

Donde:

Tiempo de reparación: tiempo necesario para reparar el sistema o componente después de un fallo.

Tiempo total de reparación: suma de todos los tiempos de reparación durante un período de estudio.

### 1.4.3 Disponibilidad

La disponibilidad se refiere a la capacidad de un sistema o componente para estar operativo y disponible para su uso cuando se lo necesita.

Es una combinación de fiabilidad y mantenibilidad, ya que no solo considera la probabilidad de que un sistema funcione correctamente, sino también la rapidez con la que puede restaurarse en caso de fallo.

- La fórmula básica para calcular la disponibilidad es:

$$\text{Disponibilidad} = \left( \frac{\text{Tiempo de funcionamiento}}{\text{Tiempo total}} \right) * 100\%$$

Donde:

Tiempo de funcionamiento: tiempo durante el cual el sistema o componente está operativo sin fallos.

Tiempo total: tiempo total de observación o período de estudio.

En la industria moderna, la fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos industriales juegan un papel crucial en la optimización de la operación y la maximización de la productividad. Estos conceptos son fundamentales para garantizar que los procesos industriales funcionen de manera eficiente y sin interrupciones, lo que a su vez se traduce en una mayor rentabilidad para las empresas. En este texto, exploraremos la importancia de la fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en la industria, así como las estrategias y herramientas utilizadas para mejorar estos aspectos clave por lo que tomaremos en consideración lo siguiente:

#### 1 Exploración de la Fiabilidad en la Industria:

La fiabilidad de los equipos industriales se refiere a la capacidad de estos sistemas para funcionar correctamente y sin fallos durante un período de tiempo determinado. En la industria, la fiabilidad es crucial para garantizar la continuidad operativa y la calidad del producto final. Por ejemplo, en la industria automotriz, la fiabilidad de las líneas de producción es fundamental para cumplir con los estándares de calidad y satisfacer la demanda del mercado.

#### 2 Estrategias de Mantenibilidad para Equipos Industriales:

La mantenibilidad se refiere a la capacidad de un equipo industrial para ser mantenido y reparado de manera eficiente. Para garantizar una alta mantenibilidad, las empresas implementan estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo. Estas estrategias permiten identificar y corregir posibles problemas antes de que se conviertan en fallos graves, minimizando así los tiempos de inactividad y reduciendo los costos de mantenimiento a largo plazo.

#### 3 Gestión de Disponibilidad en la Producción Industrial:

La disponibilidad se refiere a la capacidad de los equipos industriales para estar operativos cuando se los necesita. La gestión efectiva de la disponibilidad implica la planificación y programación adecuadas del

mantenimiento, así como la gestión eficiente de los repuestos y recursos necesarios para mantener la producción en funcionamiento. Una alta disponibilidad garantiza que los procesos industriales no se vean interrumpidos, lo que contribuye a una mayor eficiencia y rentabilidad.

#### **4 Mejoras en la Fiabilidad Mediante el Mantenimiento Proactivo:**

El mantenimiento proactivo se centra en prevenir fallos antes de que ocurran, en lugar de simplemente reaccionar ante ellos una vez que han sucedido. Al implementar estrategias de mantenimiento proactivo, las empresas pueden mejorar significativamente la fiabilidad de sus equipos industriales y reducir los costos asociados con los tiempos de inactividad y reparación.

#### **5 Evaluación de Riesgos y Fiabilidad en la Cadena de Suministro Industrial:**

La evaluación de riesgos es una parte crucial de la gestión de la fiabilidad en la industria. Identificar y mitigar los riesgos asociados con la cadena de suministro industrial ayuda a garantizar la fiabilidad de los productos y componentes utilizados en los procesos de fabricación. Las empresas pueden utilizar herramientas como el análisis de modos de

falla y efectos (FMEA) para identificar posibles puntos de fallo y tomar medidas preventivas para evitar problemas en el futuro.

#### **6 Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) y Disponibilidad Sostenible:**

El mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) es un enfoque sistemático para garantizar la fiabilidad y disponibilidad sostenible de los equipos industriales. RCM se basa en la identificación de las funciones críticas de los equipos, la evaluación de los modos de fallo potenciales y la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo para maximizar la fiabilidad y disponibilidad a lo largo del ciclo de vida del equipo.

#### **7 Gestión del Ciclo de Vida de Equipos Industriales y su Impacto en la Fiabilidad y Disponibilidad:**

La gestión del ciclo de vida de equipos industriales se refiere a la planificación y ejecución de actividades relacionadas con la adquisición, operación, mantenimiento y disposición de equipos industriales. Al gestionar adecuadamente el ciclo de vida de los equipos, las empresas pueden optimizar la fiabilidad y disponibilidad de sus activos, maximizando su vida útil y reduciendo los costos operativos a largo plazo.

# LAS FALLAS, CLASIFICACIÓN, IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS FALLAS



Las fallas en sistemas mecánicos y eléctricos son eventos inevitables en entornos industriales y técnicos. La identificación temprana y el análisis preciso de estas fallas son fundamentales para prevenir accidentes y garantizar el funcionamiento seguro y eficiente de los sistemas.

## 1.5.1 Clasificación de Fallas

Las fallas se pueden clasificar en cuatro categorías principales: mecánicas, eléctricas, estructurales y químicas.

- a) Fallas Mecánicas: Involucran componentes físicos y pueden ser causadas por fatiga, desgaste, corrosión, impacto u otros factores.
- b) Fallas Eléctricas: Afectan los componentes eléctricos y pueden surgir de cortocircuitos, sobrecargas, descargas eléctricas, entre otros.
- c) Fallas Estructurales: Comprometen la integridad física de la estructura y pueden ser el resultado de defectos de diseño, errores de construcción,

sobrecargas o condiciones ambientales adversas.

- d) Fallas Químicas: Resultan de la degradación de materiales debido a procesos químicos como corrosión, erosión o degradación térmica.

## 1.5.2 Identificación y Análisis de Fallas

La identificación y el análisis de fallas se llevan a cabo mediante una variedad de técnicas de diagnóstico, que pueden ser sensoriales o instrumentales

### Técnicas Sensoriales:

- ✓ Inspección Visual: Observación directa de los componentes en busca de signos visibles de daño o deterioro.
- ✓ Escucha: Detección de sonidos anormales, como chirridos, golpeteos o zumbidos, que pueden indicar problemas mecánicos.
- ✓ Olfato: Detección de olores extraños, como los producidos por el calentamiento excesivo de componentes eléctricos.

- ✓ Tacto: Sensación táctil para evaluar la temperatura y la textura de los componentes, identificando posibles problemas de sobrecalentamiento o desgaste.

### Técnicas Instrumentales:

- ✓ Análisis de Vibraciones: Registro y análisis de las vibraciones para detectar irregularidades en el funcionamiento de los componentes mecánicos.
- ✓ Termografía Infrarroja: Medición de la temperatura superficial para identificar puntos calientes que podrían indicar problemas.
- ✓ Ultrasonido: Emisión y recepción de ondas ultrasónicas para detectar la presencia de discontinuidades internas en materiales.
- ✓ Pruebas de Aislamiento: Medición de la resistencia eléctrica entre conductores para evaluar la integridad del aislamiento.
- ✓ Espectroscopía de Impedancia: Análisis de cambios en las propiedades eléctricas para detectar fallas incipientes en equipos eléctricos.
- ✓ Análisis de Corriente Armónica: Evaluación de la presencia de armónicos en la señal eléctrica para determinar la calidad del suministro.
- ✓ Espectro de Frecuencia: Descomposición de la señal en sus componentes de frecuencia para identificar anomalías.
- ✓ Análisis de Aceite Dieléctrico: Evaluación de la calidad del aceite en transformadores y otros equipos para detectar contaminación o degradación.
- ✓ Monitorización Continua de Parámetros: Seguimiento constante de variables operativas clave para detectar cambios anómalos.
- ✓ Pruebas de Carga Dinámica: Aplicación de cargas variables a los componentes para evaluar su respuesta y detectar posibles fallas.
- ✓ Ensayos de Lubricantes: Análisis de la calidad y la contaminación del lubricante para prevenir problemas de fricción y desgaste.
- ✓ Ensayos No Destructivos:
- ✓ Ensayos por Líquidos Penetrantes: Identificación de discontinuidades superficiales en materiales no ferrosos.
- ✓ Ensayos por Partículas Magnéticas: Detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferrosos.
- ✓ Ultrasonidos: Evaluación de la integridad interna de los materiales mediante el análisis de ondas ultrasónicas reflejadas.
- ✓ Radiografía Industrial: Visualización de la estructura interna de los materiales mediante radiación electromagnética.
- ✓ Inspección por Corrientes Inducidas: Detección de grietas y discontinuidades en materiales conductores mediante campos electromagnéticos

# HERRAMIENTAS Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



## 1.6.1 Introducción a los Ensayos No Destructivos en el Mantenimiento Industrial

Los ensayos no destructivos (END) son un conjunto de técnicas utilizadas para evaluar la integridad de materiales, componentes y estructuras sin causar daño permanente a los mismos. Estas técnicas son esenciales en el mantenimiento industrial para identificar y caracterizar defectos que podrían comprometer la seguridad, la fiabilidad o el rendimiento de los equipos y estructuras. Los END permiten detectar defectos internos o superficiales, como grietas, inclusiones, porosidades, corrosión, delaminaciones y discontinuidades en la estructura cristalina, sin afectar la funcionalidad ni la utilidad del objeto inspeccionado.

## 1.6.2 Técnicas de Ensayos No Destructivos

Existen diversas técnicas de ensayos no destructivos utilizadas en el mantenimiento industrial:

- Ultrasonido: Emisión de ondas ultrasónicas de alta frecuencia para detectar defectos internos.
- Radiografía: Empleo de radiación ionizante para obtener imágenes internas de materiales.
- Partículas Magnéticas: Aplicación de partículas ferromagnéticas para detectar discontinuidades.
- Líquidos Penetrantes: Aplicación de líquidos penetrantes para revelar imperfecciones superficiales.
- Termografía: Detección de diferencias de temperatura que puedan indicar defectos.
- Corrientes Inducidas: Generación de campos electromagnéticos para detectar defectos conductivos.
- Inspección Visual Remota: Empleo de cámaras y sistemas de visión para inspeccionar áreas de difícil acceso.

## 1.6.3 Aplicaciones específicas de cada técnica en el Mantenimiento Industrial

Cada técnica de END tiene aplicaciones específicas en el mantenimiento industrial. Por ejemplo:

- El ultrasonido se utiliza para inspeccionar soldaduras, medir

espesores de materiales y detectar corrosión.

- La radiografía es efectiva en la detección de grietas internas en soldaduras y componentes metálicos.

- Las partículas magnéticas son ideales para inspeccionar piezas ferromagnéticas, como ejes y estructuras de acero.

- Los líquidos penetrantes son útiles para la detección de grietas superficiales en metales y cerámicas.

- La termografía es especialmente útil para la detección de defectos en materiales compuestos y sistemas eléctricos.

- Las corrientes inducidas son eficaces para inspeccionar componentes conductores, como tuberías y cables.

#### **1.6.4 Procedimientos y Normativas para la Realización de Ensayos No Destructivos**

La realización de ensayos no destructivos en el mantenimiento industrial requiere seguir procedimientos y normativas específicas para garantizar la seguridad y la calidad de las inspecciones. Estas normativas suelen incluir estándares internacionales, como las normas ASTM, ISO y ASNT, que establecen los requisitos para la calificación del personal, la selección de equipos y la ejecución de los ensayos.

#### **1.6.5 Integración de Ensayos No Destructivos en Programas de Mantenimiento**

Los ensayos no destructivos se integran en programas de mantenimiento predictivo y preventivo para monitorear la salud de los equipos a lo largo del tiempo. Al implementar inspecciones periódicas utilizando técnicas de END, las empresas pueden identificar y abordar proactivamente posibles problemas antes de que se conviertan en fallas costosas.

#### **1.6.6 Capacitación y Certificación del Personal**

El personal encargado de realizar ensayos no destructivos debe recibir capacitación y certificación adecuadas para garantizar la calidad y la precisión de las inspecciones. La certificación se basa en estándares reconocidos internacionalmente y garantiza que el personal posea las habilidades y el conocimiento necesarios para llevar a cabo las inspecciones de manera competente y confiable.

#### **1.6.7 Tendencias y Avances Tecnológicos**

El campo de los ensayos no destructivos está en constante evolución, con continuos avances tecnológicos que mejoran la precisión, la velocidad y la accesibilidad de las inspecciones.

# MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y VÁLVULAS ELECTROMAGNÉTICAS



## 1.7.1 Introducción al Mantenimiento de Máquinas Eléctricas:

El mantenimiento de máquinas eléctricas es crucial para garantizar la continuidad operativa de motores y generadores en diversos entornos industriales. Incluye actividades como la inspección, el diagnóstico de fallas, la reparación y la optimización del rendimiento.

## 1.7.2 Tipos de Máquinas Eléctricas

- Motores de Corriente Alterna (CA): Utilizados en aplicaciones que  
 - Generadores de Corriente Continua (CC): El mantenimiento se enfoca en asegurar la integridad de los devanados, el estado de los

## 1.7.3 Importancia del Mantenimiento Preventivo:

El mantenimiento preventivo minimiza el riesgo de fallas catastróficas y prolonga la vida útil de las máquinas. Incluye tareas como la inspección visual, análisis de lubricantes, mediciones de resistencia de aislamiento y termografía infrarroja.

requieren un amplio rango de velocidad y torque, su mantenimiento abarca la inspección de devanados, rodamientos y sistemas de ventilación.

- Motores de Corriente Continua (CC): Comunes en aplicaciones de control de velocidad, requieren mantenimiento en los sistemas de escobillas, colectores y excitación.  
 - Generadores de Corriente Alterna (CA): Esencial mantener la integridad de los devanados del estator y del rotor, así como la alineación del eje y el correcto funcionamiento de los sistemas de refrigeración.

colectores y las escobillas, y la estabilidad del sistema de excitación.

## 1.7.4 Técnicas de Mantenimiento Predictivo:

- Monitoreo de Vibraciones: Identifica desequilibrios, alineaciones deficientes y desgaste de rodamientos.

- Termografía Infrarroja: Detecta puntos calientes que indican problemas de conexión o sobrecargas.



- **Análisis de Aceite:** Evalúa la presencia de partículas metálicas y la degradación del aceite lubricante.
- **Inspecciones Visuales Avanzadas:** Utilización de cámaras endoscópicas para examinar áreas de difícil acceso y sistemas de video para inspeccionar devanados internos.

### **1.7.5 Mantenimiento Correctivo y Reparación:**

El mantenimiento correctivo aborda las fallas identificadas durante el funcionamiento de la máquina. Incluye acciones como el rebobinado de devanados, el reemplazo de cojinetes y la reparación de núcleos magnéticos.

### **1.7.6 Consideraciones Ambientales y de Sostenibilidad:**

Es fundamental adoptar prácticas de mantenimiento que minimicen el impacto ambiental, como la gestión adecuada de residuos y la selección de lubricantes biodegradables.

### **1.7.7 Introducción al Mantenimiento de Válvulas Electromagnéticas:**

Las válvulas electromagnéticas son componentes esenciales en sistemas de control de fluidos que requieren mantenimiento regular para garantizar su correcto funcionamiento.

#### **1.7.7.1 Tipos de Válvulas Electromagnéticas:**

- **Válvulas de Solenoide:** Utilizadas para controlar el flujo de fluidos en aplicaciones como sistemas hidráulicos y neumáticos.

- **Válvulas de Control Proporcional:** Permiten ajustar el flujo de fluido de manera proporcional a la señal de entrada, ideales para aplicaciones de control de precisión.
- **Válvulas de Seguridad:** Diseñadas para cerrar automáticamente en caso de condiciones anormales, como sobrepresión o falta de fluido.
- **Válvulas de Purga:** Utilizadas para eliminar aire u otros gases presentes en sistemas de fluidos.

#### **1.7.7.2 Mantenimiento Preventivo:**

Incluye inspecciones periódicas para detectar signos de desgaste, limpieza de componentes internos y reemplazo de sellos y juntas.

#### **1.7.7.3 Calibración y Ajuste:**

Es esencial calibrar las válvulas para garantizar un rendimiento óptimo, ajustando parámetros como la fuerza de actuación y la velocidad de respuesta.

#### **Diagnóstico de Fallas y Mantenimiento Correctivo:**

Se realizan pruebas de funcionamiento para identificar problemas como fugas, obstrucciones o pérdida de presión, y se realizan reparaciones según sea necesario.

#### **Consideraciones de Seguridad:**

Es fundamental seguir protocolos de seguridad durante el mantenimiento, como el bloqueo de energía y la manipulación adecuada de dispositivos que controlen accionamientos de los mandos que los controlan.



# Cuestionario

---

## CUESTIONARIO 1

1. ¿Cuáles son las principales estrategias de mantenimiento industrial y cómo se diferencian entre sí?
  - a) Mantenimiento preventivo, correctivo, predictivo y proactivo.
  - b) Mantenimiento mecánico, eléctrico, electrónico y hidráulico.
  - c) Mantenimiento interno y externo, centralizado y descentralizado.
  - d) Todas las anteriores. (Respuesta correcta)
  
2. ¿Cuál es la importancia del mantenimiento preventivo en comparación con otras estrategias de mantenimiento?
  - a) Previene problemas antes de que ocurran. (Respuesta correcta)
  - b) Resuelve problemas una vez que ocurren.
  - c) No es necesario en entornos industriales.
  - d) Es menos efectivo que el mantenimiento correctivo.
  
3. ¿Cómo pueden las empresas utilizar el análisis de datos para mejorar sus prácticas de mantenimiento industrial?
  - a) Identificando patrones y tendencias. (Respuesta correcta)
  - b) Realizando mantenimiento correctivo.
  - c) Aplicando estrategias de mantenimiento predictivo.
  - d) Ignorando los datos y experiencias anteriores.
  
4. ¿Cuáles son los desafíos más comunes que enfrentan los profesionales del mantenimiento industrial en la actualidad?
  - a) Escasez de habilidades y recursos, demanda creciente de eficiencia, avances tecnológicos rápidos, restricciones presupuestarias. (Respuesta correcta)
  - b) Falta de herramientas adecuadas, baja demanda de servicios de mantenimiento, falta de innovación.
  - c) Exceso de personal, exceso de presupuesto, falta de normativas de seguridad.
  - d) Ninguna de las anteriores.
  
5. ¿Cuáles son las habilidades y competencias clave que un técnico de mantenimiento industrial debe poseer para tener éxito en su carrera?
  - a) Conocimientos técnicos, resolución de problemas, habilidades de comunicación, trabajo en equipo. (Respuesta correcta)
  - b) Experiencia en ventas, habilidades informáticas, habilidades de liderazgo.
  - c) Experiencia en marketing, habilidades artísticas, habilidades de negociación.
  - d) Ninguna de las anteriores.
  
6. ¿Cómo pueden las empresas integrar prácticas sostenibles en sus programas de mantenimiento industrial?
  - a) Utilizando energías renovables, gestionando eficientemente los residuos, aplicando mantenimiento preventivo. (Respuesta correcta)
  - b) Ignorando las preocupaciones ambientales.



- c) Aumentando el uso de recursos no renovables.  
d) Ninguna de las anteriores.
7. ¿Cuál es el papel del mantenimiento industrial en la prevención de accidentes laborales y la protección del medio ambiente?
- Garantiza la seguridad de los trabajadores. (Respuesta correcta)
  - Minimiza los costos de reparación.
  - Maximiza los tiempos de inactividad no planificados.
  - Ninguna de las anteriores.
8. ¿Cuáles son las tendencias emergentes en el campo del mantenimiento industrial y cómo están impactando la industria?
- Avance de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático. (Respuesta correcta)
  - Reducción del uso de tecnologías digitales.
  - Mayor dependencia de métodos tradicionales.
  - Ninguna de las anteriores.
9. ¿Qué oportunidades de carrera están disponibles para los profesionales del mantenimiento industrial en la actualidad?
- Diversas oportunidades en sectores como manufactura, energía, transporte, entre otros. (Respuesta correcta)
  - Solo oportunidades limitadas en empresas específicas.
  - Oportunidades limitadas solo en el mantenimiento mecánico.
  - Ninguna de las anteriores.
10. ¿Cuál es la importancia de la formación continua y el desarrollo profesional para los técnicos de mantenimiento industrial?
- Permite estar al día con las últimas tecnologías y tendencias en el campo. (Respuesta correcta)
  - No es necesario para el éxito profesional.
  - Puede ser perjudicial para la carrera.
  - Solo es importante al principio de la carrera .



# 02

## VIBRACIÓN MECÁNICA

---

# CAPÍTULO DOS

## ANÁLISIS DE VIBRACIONES

Definiciones



### 2.1.1 Introducción

La vibración mecánica es un fenómeno común en maquinaria rotativa que puede indicar problemas en el funcionamiento de los equipos. Se produce cuando un sistema mecánico oscila alrededor de un punto de equilibrio, generando movimientos de ida y vuelta. Estos movimientos pueden ser causados por desequilibrios, desalineaciones, holguras, problemas de rodamientos, resonancia u otros factores.

La medición y análisis de la vibración son fundamentales para diagnosticar y prevenir problemas de funcionamiento en maquinaria industrial, permitiendo llevar a cabo acciones correctivas y preventivas para garantizar la integridad y eficiencia de los equipos.

### 2.1.2 Fundamentos de la Vibración Mecánica

La vibración puede manifestarse en diferentes formas, como vibración axial, radial o tangencial, cada una con sus propias características y causas subyacentes. Los principales factores que contribuyen a la vibración incluyen desequilibrios en los rotores, desalineaciones entre ejes, problemas de rodamientos, holguras en los acoplamientos y resonancias estructurales.

### 2.1.3 Técnicas de Medición y Análisis de Vibraciones

Para evaluar y diagnosticar la vibración mecánica, se utilizan diversas técnicas de medición y análisis. Los acelerómetros se emplean para convertir la vibración en señales eléctricas, que luego se

procesan utilizando analizadores de espectro para identificar las frecuencias y amplitudes de vibración. El análisis de la forma de onda proporciona información sobre la naturaleza y la severidad de los problemas de vibración.

1. Uso de acelerómetros: Los acelerómetros son sensores que miden la aceleración de un objeto y se utilizan para convertir la vibración mecánica en señales eléctricas.
2. Analizadores de espectro: Estos dispositivos descomponen las señales de vibración en sus componentes de frecuencia para identificar patrones de vibración y posibles problemas mecánicos.
3. Análisis de formas de onda: Examina la forma y la amplitud de las ondas de vibración para identificar picos anormales o patrones irregulares.
4. Análisis de tendencias: Seguimiento de datos de vibración a lo largo del tiempo para identificar cambios graduales que puedan indicar problemas en desarrollo.
5. Técnicas de procesamiento de señales: Utilización de técnicas avanzadas de procesamiento de señales para extraer características específicas de los datos de vibración y mejorar la precisión del análisis.
6. Análisis de resonancia: Identificación de frecuencias de resonancia para evitar la operación en condiciones que puedan amplificar la vibración.
7. Modelado de elementos finitos (MEF): Simulaciones computacionales para predecir la respuesta vibracional de estructuras y componentes bajo

diferentes condiciones de carga y geometría.

### 2.1.4 Diagnóstico de Problemas mediante Vibraciones

La interpretación de los datos de vibración es fundamental para identificar y diagnosticar problemas mecánicos. Los análisis de espectro de frecuencia permiten identificar las frecuencias naturales del sistema y las componentes armónicas asociadas con problemas específicos, como desalineaciones o desequilibrios. Además, la comparación de los datos actuales con las líneas de base previamente establecidas facilita la detección temprana de anomalías.

1. Identificación de frecuencias de falla: Determinación de las frecuencias características asociadas con problemas mecánicos específicos, como desalineaciones, desequilibrios o rodamientos defectuosos.
2. Análisis de armónicos: Identificación de armónicos de vibración que pueden indicar condiciones de carga inestables o componentes mecánicos en mal estado.
3. Comparación con líneas de base: Comparación de datos de vibración actuales con mediciones previas para detectar cambios significativos que puedan indicar problemas emergentes.
4. Correlación con datos operativos: Análisis de datos de vibración en relación con parámetros operativos, como velocidad, carga y temperatura, para identificar posibles causas subyacentes.
5. Evaluación de modos de falla: Evaluación de los posibles modos

- de falla asociados con los patrones de vibración observados y la historia operativa del equipo.
6. Análisis de vibración multivariable: Consideración de múltiples parámetros de vibración, como amplitud, frecuencia y dirección, para una evaluación más completa del estado del equipo.
  7. Análisis de componentes resonantes: Identificación de componentes resonantes que pueden amplificar la vibración y causar daños a largo plazo.
4. Aislamiento de vibraciones: Uso de materiales y sistemas de montaje que absorban y disipen la energía de vibración para reducir su transmisión a estructuras sensibles.
  5. Control de resonancias: Diseño de estructuras y componentes para evitar la coincidencia de frecuencias naturales con las frecuencias de excitación.
  6. Mantenimiento preventivo: Implementación de programas regulares de inspección y mantenimiento para detectar y corregir problemas de vibración antes de que causen daños significativos.
  7. Monitoreo continuo: Instalación de sistemas de monitoreo en línea para detectar cambios en los niveles de vibración y tomar medidas correctivas inmediatas.

### 2.1.5 Estrategias de Mitigación de Vibraciones

Para mitigar los efectos de la vibración, se aplican diversas estrategias de corrección y prevención. Estas incluyen el equilibrado dinámico de rotores para minimizar los desequilibrios, la alineación precisa de ejes para evitar desalineaciones y la reducción de holguras y juego en la maquinaria para mejorar la estabilidad y la rigidez del sistema.

1. Equilibrado dinámico: Procedimiento para corregir desequilibrios en rotores mediante la adición o eliminación de material para minimizar las fuerzas de vibración.
2. Alineación precisa de ejes: Alineación cuidadosa de ejes para reducir las fuerzas de desalineación y minimizar la vibración resultante.
3. Reducción de holguras y juego: Eliminación de holguras y juego en componentes mecánicos para mejorar la estabilidad y la rigidez del sistema.

### 2.1.6 Alineación de Motores Eléctricos

La alineación de motores eléctricos es un proceso fundamental en el mantenimiento de maquinaria rotativa. Consiste en ajustar la posición relativa entre el motor y la carga acoplada, como bombas, compresores o ventiladores, para garantizar que los ejes estén alineados de manera precisa. Una alineación adecuada ayuda a reducir la carga sobre los rodamientos, minimiza la vibración y el desgaste prematuro de los componentes, mejora la eficiencia energética y prolonga la vida útil de la maquinaria. Se utilizan herramientas como láseres de alineación y métodos de medición de indicadores de desalineación para llevar a cabo este proceso con precisión.

### 2.1.7 Principios de Alineación de Motores

La alineación precisa de ejes es esencial para evitar problemas como el desgaste prematuro de los rodamientos, la generación de calor excesivo y las fallas mecánicas. Las desalineaciones pueden ser paralelas, angulares o una combinación de ambas, y cada tipo puede causar diferentes patrones de desgaste y vibraciones indeseadas.

### 2.1.8 Métodos de Alineación

Existen varios métodos para alinear motores eléctricos, desde técnicas tradicionales como el uso de relojes comparadores hasta métodos modernos como la alineación láser. Independientemente del método utilizado, es crucial seguir un procedimiento sistemático y preciso para garantizar resultados óptimos.

#### Técnicas de Alineación de Motores

1. Método de relojes comparadores: Utiliza relojes comparadores para medir las desviaciones de alineación y ajustar los componentes hasta alcanzar la alineación adecuada.
2. Alineación láser: Emplea un dispositivo láser para proyectar un haz de luz que indica la posición relativa de los ejes y facilita el ajuste preciso.
3. Método de cuerda: Utiliza una cuerda tensa entre los ejes acoplados para visualizar las desalineaciones y realizar los ajustes necesarios.
4. Tecnología de imagen digital: Utiliza cámaras y software de procesamiento de imágenes

para analizar la alineación de los ejes y realizar ajustes en tiempo real.

5. Alineación por láser 3D: Emplea tecnología láser 3D para obtener mediciones tridimensionales de la alineación y garantizar una precisión óptima.
6. Método de inclinómetros (goniómetro): Utiliza inclinómetros para medir los ángulos de desalineación y realizar correcciones para lograr una alineación angular precisa.
7. Alineación guiada por computadora: Utiliza sistemas de software avanzados que guían al usuario a través del proceso de alineación paso a paso, proporcionando instrucciones claras y precisas.

### 2.1.9 Proceso de Alineación Paso a Paso

El proceso de alineación generalmente implica una serie de pasos, que incluyen la preparación previa, la fijación de dispositivos de medición, la toma de mediciones, el cálculo de correcciones necesarias y la verificación final de la alineación. La precisión en cada etapa del proceso es fundamental para lograr una alineación efectiva.

1. Preparación previa: Inspección de los componentes, limpieza de las superficies de montaje y verificación de las especificaciones de alineación recomendadas por el fabricante.
2. Fijación de dispositivos de medición: Colocación de sensores, relojes comparadores o dispositivos



- láser en los puntos de medición designados.
3. Toma de mediciones: Registro de las desviaciones de alineación en términos de distancia y ángulo utilizando las técnicas de medición seleccionadas.
  4. Cálculo de correcciones necesarias: Determinación de los ajustes requeridos para corregir las desalineaciones detectadas y lograr una alineación óptima.
  5. Realización de ajustes: Ajuste gradual de los componentes, como bases de montaje y placas de soporte, para corregir las desalineaciones identificadas.
  6. Verificación final de la alineación: Revisión de las mediciones después de los ajustes para confirmar que se haya logrado una alineación adecuada.
  7. Documentación y seguimiento: Registro de los resultados de la alineación y establecimiento de un programa de seguimiento para monitorear cambios y realizar ajustes adicionales según sea necesario.

### **2.1.9.1 Importancia del Mantenimiento Preventivo**

El mantenimiento preventivo desempeña un papel clave en la preservación de la alineación de motores a lo largo del tiempo.

Establecer programas regulares de inspección y ajuste ayuda a detectar y corregir desalineaciones antes de que causen daños significativos, lo que resulta en una mayor confiabilidad y eficiencia operativa.

### **Estrategias optadas dentro del Mantenimiento Preventivo**

1. Inspecciones regulares: Programación de inspecciones periódicas para detectar desalineaciones y desgastes prematuros de los rodamientos.
2. Lubricación adecuada: Mantenimiento de niveles adecuados de lubricación para reducir la fricción y el desgaste en los puntos de contacto.
3. Monitoreo de la temperatura: Supervisión de la temperatura de funcionamiento de los rodamientos y los componentes relacionados para detectar signos de problemas.
4. Capacitación del personal: Entrenamiento del personal de mantenimiento en técnicas de alineación y prácticas de mantenimiento preventivo.
5. Implementación de procedimientos de emergencia: Desarrollo de protocolos de acción rápida para abordar desalineaciones severas o problemas inesperados.
6. Actualización de equipos: Evaluación y actualización periódica de los equipos de alineación y medición para garantizar su precisión y confiabilidad.
7. Seguimiento de tendencias: Análisis regular de datos de alineación y vibración para identificar tendencias y tomar medidas preventivas antes de que surjan problemas graves.

### **2.1.10 Matrimonios para Transmisión de Movimientos**

Los matrimonios para transmisión de movimientos son elementos cruciales

en sistemas de transmisión de potencia que facilitan la conexión y transmisión de movimiento entre ejes no alineados o con ángulos diferentes. Estos dispositivos mecánicos diseñados para transmitir movimiento y potencia entre ejes no paralelos son fundamentales para garantizar una transmisión eficiente y confiable de potencia. Entre los tipos comunes de matrimonios se encuentran los cardanes, las crucetas y las juntas universales. Estos componentes permiten compensar pequeños ángulos de desalineación entre ejes y mantener la transmisión de movimiento de manera eficiente y suave. Los matrimonios son ampliamente utilizados en aplicaciones de transmisión de potencia en vehículos, maquinaria industrial, equipos agrícolas y otros sistemas mecánicos.

#### 2.1.10.1 Tipos de Matrimonios

Existen varios tipos de matrimonios utilizados en la industria, cada uno con sus propias características y aplicaciones específicas. Entre ellos se encuentran los cardanes, crucetas y juntas universales, que ofrecen flexibilidad y capacidad de transmisión de movimiento en diferentes configuraciones y condiciones de carga.

Para cual describiremos algunos de ellos:

1. Matrimonios cardánicos: Utilizados para transmitir movimiento rotativo entre ejes no alineados, permitiendo cierta flexibilidad angular.
2. Crucetas: Formadas por dos horquillas que contienen cojinetes, permiten transmitir movimiento a ángulos variables.

3. Juntas universales: También conocidas como juntas de cardán, permiten transmitir movimiento entre ejes no alineados en cualquier dirección.
4. Matrimonios flexibles: Fabricados con materiales elásticos que absorben y compensan pequeñas desalineaciones y vibraciones.
5. Acoplamientos de engranajes: Transfieren movimiento a través de una serie de engranajes, proporcionando una transmisión eficiente y precisa.
6. Matrimonios de correa: Utilizados en sistemas de transmisión por correa, permiten la transmisión de movimiento entre ejes paralelos o en ángulo.
7. Acoplamientos hidráulicos: Utilizados en aplicaciones que requieren un acoplamiento suave y controlado, absorben vibraciones y choques.

#### 2.1.10.2 Principios de Funcionamiento

Los matrimonios transmiten movimiento rotativo entre ejes que no están alineados o que tienen ángulos diferentes. Esto se logra mediante el uso de componentes como crucetas, horquillas y articulaciones, que permiten la transferencia de torque y movimiento mientras compensan las variaciones en la orientación y posición de los ejes.

Detallaremos algunos de ellos:

1. Transmiten movimiento: Permiten la transmisión de movimiento rotativo entre ejes no alineados o con ángulos diferentes.
2. Compensan desalineaciones: Flexibilidad inherente que permite compensar pequeñas



- desviaciones angulares y axiales entre los ejes acoplados.
3. Absorben vibraciones: Algunos matrimonios están diseñados para absorber y disipar vibraciones indeseadas, protegiendo así los componentes del sistema.
  4. Permiten el ajuste angular: Facilitan el ajuste angular entre ejes para adaptarse a condiciones variables de operación.
  5. Reducen la transmisión de choques: Ayudan a reducir la transmisión de choques y cargas de impacto, protegiendo así los componentes del sistema de transmisión.
  6. Proporcionan flexibilidad: Permiten cierta flexibilidad en la transmisión de movimiento, lo que facilita la operación en condiciones cambiantes o variables.
  7. Mejoran la eficiencia: Cuando están diseñados y seleccionados adecuadamente, los matrimonios pueden mejorar la eficiencia y la confiabilidad del sistema de transmisión.

### **2.1.10.3 Selección y Diseño de Matrimonios**

La selección y diseño de matrimonios dependen de varios factores, incluyendo la carga de trabajo, las condiciones operativas y los requisitos de espacio. Es importante considerar la capacidad de carga, la resistencia a la fatiga y la vida útil esperada del matrimonio al seleccionar el tipo y tamaño adecuados para una aplicación específica.

1. Análisis de requisitos de aplicación: Evaluación de los requisitos de carga, velocidad,

- torsión y entorno operativo para determinar el tipo de matrimonio más adecuado.
2. Dimensionamiento de componentes: Selección de materiales, dimensiones y geometrías de los componentes del matrimonio para garantizar una capacidad de carga y una vida útil adecuadas.
  3. Diseño de conexión: Diseño de conexiones seguras y confiables entre los ejes y el matrimonio, minimizando la posibilidad de desgaste y fallos prematuros.
  4. Consideraciones de alineación: Toma en cuenta las tolerancias de alineación y las desviaciones angulares para garantizar un funcionamiento suave y una vida útil prolongada.
  5. Evaluación de la flexibilidad: Verificación de la capacidad del matrimonio para absorber desalineaciones y vibraciones sin comprometer la integridad estructural o el rendimiento del sistema.
  6. Pruebas de rendimiento: Realización de pruebas de laboratorio y de campo para evaluar el rendimiento del matrimonio bajo condiciones operativas reales.
  7. Análisis de costos y beneficios: Evaluación de los costos de adquisición, instalación y mantenimiento en comparación con los beneficios en términos de eficiencia, confiabilidad y vida útil extendida del sistema de transmisión.

### **2.1.10.4 Instalación, mantenimiento y operación**

La instalación adecuada de matrimonios requiere atención a la alineación precisa de los componentes y la lubricación



adecuada para garantizar un funcionamiento suave y duradero. Además, el mantenimiento regular, que incluye inspecciones periódicas y reemplazo de componentes desgastados, es fundamental para evitar fallas prematuras y maximizar la vida útil del matrimonio.

1. Inspección periódica: Programación de inspecciones regulares para detectar desgastes, grietas u otros signos de deterioro en los componentes del matrimonio.
2. Lubricación adecuada: Aplicación de lubricantes adecuados en los puntos de contacto para reducir la fricción y prolongar la vida útil del matrimonio.
3. Ajuste de tensiones: Verificación y ajuste periódico de la tensión de las correas o cadenas para garantizar una transmisión eficiente y evitar el desgaste prematuro.
4. Reemplazo oportuno de componentes: Sustitución de piezas desgastadas o dañadas según las recomendaciones del fabricante para mantener el rendimiento óptimo del sistema.
5. Monitoreo de vibraciones: Supervisión de los niveles de vibración para detectar desalineaciones o desequilibrios que puedan indicar problemas en el matrimonio.
6. Capacitación del personal: Formación del personal de mantenimiento en técnicas de inspección, lubricación y ajuste de matrimonios para garantizar una operación segura y eficiente.
7. Registro de historial de mantenimiento: Documentación de todas las actividades de mantenimiento realizadas, incluidas inspecciones, lubricación, ajustes y reemplazos de componentes, para un seguimiento efectivo del estado y rendimiento del matrimonio a lo largo del tiempo.



# Cuestionario

---

## CUESTIONARIO 2

1. ¿Cuál de los siguientes no es un método comúnmente utilizado para medir vibraciones?
  - a) Uso de acelerómetros
  - b) Análisis de espectro
  - c) Método de cuerda
  - d) Análisis de tendenciasRespuesta correcta: c) Método de cuerda
  
2. ¿Qué técnica de mitigación de vibraciones implica el uso de materiales y sistemas de montaje para absorber y disipar la energía de vibración?
  - a) Equilibrado dinámico
  - b) Alineación precisa de ejes
  - c) Aislamiento de vibraciones
  - d) Control de resonanciasRespuesta correcta: c) Aislamiento de vibraciones
  
3. ¿Cuál de los siguientes es un paso común en el proceso de diagnóstico de problemas mediante vibraciones?
  - a) Comparación con líneas de base
  - b) Equilibrado dinámico
  - c) Análisis de formas de onda
  - d) Modelado de elementos finitos (MEF)Respuesta correcta: a) Comparación con líneas de base
  
4. ¿Cuál de los siguientes métodos de alineación utiliza un dispositivo láser para proyectar un haz de luz y facilitar el ajuste preciso de los ejes?
  - a) Método de relojes comparadores
  - b) Alineación por láser 3D
  - c) Método de cuerda
  - d) Alineación guiada por computadoraRespuesta correcta: b) Alineación por láser 3D
  
5. ¿Qué estrategia de mantenimiento preventivo es fundamental para garantizar una alineación óptima a lo largo del tiempo?
  - a) Inspecciones regulares
  - b) Reemplazo de componentes
  - c) Lubricación adecuada
  - d) Capacitación del personalRespuesta correcta: a) Inspecciones regulares
  
6. ¿Cuál de las siguientes acciones es parte del proceso de alineación paso a paso?
  - a) Mantenimiento preventivo
  - b) Verificación final de la alineación
  - c) Análisis de tendencias
  - d) Implementación de procedimientos de emergencia



Respuesta correcta: b) Verificación final de la alineación

7. ¿Cuál de los siguientes no es un tipo común de matrimonio utilizado en sistemas de transmisión de potencia?

a) Matrimonios cardánicos  
b) Acoplamientos hidráulicos  
c) Matrimonios flexibles  
d) Transmisiones automáticas

Respuesta correcta: d) Transmisiones automáticas

8. ¿Qué función cumplen los matrimonios en sistemas de transmisión de potencia?

a) Alinear los ejes  
b) Absorber vibraciones  
c) Transmitir movimiento  
d) Reducir la fricción

Respuesta correcta: c) Transmitir movimiento

9. ¿Qué proceso de selección y diseño implica la evaluación de los requisitos de carga, velocidad y entorno operativo para determinar el tipo de matrimonio más adecuado?

a) Análisis de requisitos de aplicación  
b) Dimensionamiento de componentes  
c) Diseño de conexión  
d) Pruebas de rendimiento

Respuesta correcta: a) Análisis de requisitos de aplicación

10. ¿Qué estrategia de mantenimiento y operación implica la realización de pruebas de laboratorio y de campo para evaluar el rendimiento del matrimonio?

a) Inspección periódica  
b) Lubricación adecuada  
c) Capacitación del personal  
d) Pruebas de rendimiento

Respuesta correcta: d) Pruebas de rendimiento

11. ¿Cuál de los siguientes procesos de selección y diseño implica la evaluación de los costos de adquisición, instalación y mantenimiento en comparación con los beneficios en términos de eficiencia y confiabilidad?

a) Dimensionamiento de componentes  
b) Consideraciones de alineación  
c) Análisis de costos y beneficios  
d) Seguimiento de tendencias

Respuesta correcta: c) Análisis de costos y beneficios

12. ¿Cuál de las siguientes técnicas de medición y análisis de vibraciones convierte la vibración mecánica en señales eléctricas?

a) Uso de acelerómetros  
b) Analizadores de espectro  
c) Análisis de formas de onda



d) Análisis de tendencias

Respuesta correcta: a) Uso de acelerómetros

13. ¿Qué estrategia de mitigación de vibraciones implica el equilibrado dinámico de rotores para minimizar las fuerzas de vibración?

a) Equilibrado dinámico

b) Alineación precisa de ejes

c) Aislamiento de vibraciones

d) Control de resonancias

Respuesta correcta: a) Equilibrado dinámico

14. ¿Cuál de los siguientes procesos de alineación paso a paso implica la realización de pruebas de laboratorio y de campo para evaluar el rendimiento del matrimonio?

a) Preparación previa

b) Fijación de dispositivos de medición

c) Realización de ajustes

d) Verificación final de la alineación

Respuesta correcta: d) Verificación final de la alineación

15. ¿Cuál de los siguientes no es un principio de funcionamiento de los matrimonios?

a) Transmiten movimiento

b) Reducen la transmisión de choques

c) Aumentan la fricción

d) Absorben vibraciones

Respuesta correcta: c) Aumentan la fricción



# 03

**LUBRICACIÓN  
INDUSTRIAL**

---

# CAPÍTULO TRES

## LUBRICACIÓN INDUSTRIAL

Definiciones



### 3.1.1 Introducción

La lubricación industrial es una disciplina esencial en el mantenimiento efectivo de maquinaria y equipos en entornos industriales. En esta guía de estudio, nos sumergiremos en los detalles de la lubricación industrial, explorando sus fundamentos, aplicaciones y mejores prácticas.

#### **Importancia y Principios de la Lubricación Industrial**

La lubricación industrial va más allá de simplemente reducir la fricción y el desgaste. Exploraremos cómo la lubricación adecuada contribuye a la disipación del calor, la prevención de la corrosión y la amortiguación del ruido en la maquinaria. Discutiremos los principios físicos y químicos detrás

de la lubricación y cómo se aplican en diferentes situaciones industriales.

### 3.1.2 Propiedades y Tipos de Lubricantes

Los lubricantes son productos químicos diseñados para reducir la fricción y el desgaste entre las superficies móviles de la maquinaria. Es esencial comprender las propiedades clave de los lubricantes para seleccionar el tipo adecuado para cada aplicación industrial.

### 3.1.3 Propiedades de los lubricantes:

- **Viscosidad:** Es una medida de la resistencia de un lubricante al flujo. Los lubricantes con



- una viscosidad adecuada garantizan una película lubricante adecuada entre las superficies en movimiento.
- Índice de Viscosidad: Indica cómo varía la viscosidad de un lubricante con la temperatura. Los lubricantes con un alto índice de viscosidad son menos sensibles a los cambios de temperatura, lo que garantiza un rendimiento estable en una amplia gama de condiciones.
  - Punto de Inflamación: Es la temperatura mínima a la que un lubricante desprende suficientes vapores para formar una mezcla inflamable con el aire. Los lubricantes con un alto punto de inflamación son más seguros de usar en entornos de alta temperatura o cerca de fuentes de ignición.
  - Estabilidad Térmica: Se refiere a la capacidad de un lubricante para resistir la descomposición térmica a altas temperaturas. Los lubricantes con una buena estabilidad térmica mantienen sus propiedades lubricantes durante períodos prolongados, lo que prolonga la vida útil del lubricante y reduce la formación de depósitos y lodos.

### 3.1.4 Tipos de Lubricantes:

- Aceites Minerales: Son lubricantes derivados del petróleo, ampliamente utilizados en una variedad de aplicaciones industriales debido a su bajo costo y buena compatibilidad con materiales.
- Aceites Sintéticos: Son lubricantes fabricados a partir de productos químicos sintéticos, diseñados para ofrecer un rendimiento superior en condiciones extremas de temperatura, presión y velocidad.
- Grasas Lubricantes: Son lubricantes semisólidos que consisten en un aceite base disperso en un espesante. Las grasas lubricantes son ideales para aplicaciones donde la lubricación permanente o la lubricación en puntos de difícil acceso es necesaria.

### 3.1.5 Métodos de Aplicación de Lubricantes

La elección del método de aplicación de lubricantes adecuado es crucial para garantizar una distribución uniforme y eficiente del lubricante en las superficies de contacto de la maquinaria.

- Lubricación Manual: Implica la aplicación directa de lubricante en las áreas de contacto mediante el uso de brochas, pulverizadores o pistolas de engrase. Este método es adecuado para aplicaciones de lubricación puntual o cuando se requiere precisión en la aplicación del lubricante.
- Lubricación Automatizada: Incluye sistemas automáticos de lubricación centralizada, como sistemas de goteo, sistemas de circulación de aceite y sistemas de lubricación por niebla. Estos sistemas están diseñados para suministrar lubricante de

manera continua y controlada a múltiples puntos de lubricación en la maquinaria, reduciendo la intervención humana y garantizando una lubricación consistente y adecuada.

- **Lubricación por Inmersión:** Se utiliza en aplicaciones donde las piezas móviles están sumergidas en un baño de lubricante. Este método es común en la lubricación de engranajes, cojinetes y cadenas, y garantiza una lubricación completa y uniforme de todas las superficies en movimiento.

### 3.1.6 Selección y Mantenimiento de Lubricantes

Seleccionar el lubricante adecuado para una aplicación específica es fundamental para garantizar un rendimiento óptimo y prolongar la vida útil de los equipos industriales. Además, el mantenimiento adecuado de los lubricantes es esencial para mantener su calidad y eficacia a lo largo del tiempo.

- **Selección de Lubricantes:** Para seleccionar el lubricante adecuado, se deben considerar varios factores, como las condiciones de operación (temperatura, presión, velocidad), el tipo de carga, los requisitos de rendimiento y las especificaciones del fabricante de la maquinaria. Es importante seguir las recomendaciones del fabricante del lubricante y realizar pruebas de

compatibilidad antes de cambiar de lubricante.

- **Almacenamiento y Manejo:** Los lubricantes deben almacenarse en áreas limpias, secas y bien ventiladas para evitar la contaminación y la degradación. Se deben tomar precauciones especiales para proteger los lubricantes contra la contaminación por agua, suciedad, polvo y productos químicos. Además, es importante etiquetar y rotar los lubricantes para garantizar que se utilicen antes de su fecha de vencimiento.
- **Programas de Mantenimiento Preventivo:** Los programas de mantenimiento preventivo son fundamentales para garantizar que los lubricantes se mantengan en condiciones óptimas y que se realice la lubricación de manera regular y sistemática. Estos programas pueden incluir actividades como el muestreo y análisis de aceite, la inspección visual de equipos y la programación de cambios de lubricante según las horas de funcionamiento o las condiciones de operación.

### 3.1.7 Diagnóstico y Resolución de Problemas de Lubricación

- Detectar y resolver problemas de lubricación de manera oportuna es crucial para prevenir daños en los equipos y maximizar su vida útil. Se deben utilizar técnicas de diagnóstico adecuadas para identificar los problemas de lubricación y tomar medidas correctivas apropiadas.

- **Análisis de Aceite:** El análisis de aceite es una herramienta poderosa para monitorear la condición de los lubricantes y detectar la presencia de contaminantes, como agua, partículas metálicas y productos de descomposición. Los cambios en las propiedades físicas y químicas del aceite pueden indicar problemas potenciales, como la contaminación, la degradación del lubricante o el desgaste de los componentes.
- **Inspección Visual:** La inspección visual regular de los equipos puede ayudar a detectar signos de problemas de lubricación, como la falta de lubricante, la presencia de fugas, la contaminación o el desgaste prematuro de los
- 

componentes. Es importante prestar atención a áreas críticas de lubricación, como cojinetes, engranajes, cadenas y guías lineales, y tomar medidas correctivas tan pronto como se detecten problemas.

- **Monitorización de la Vibración y la Temperatura:** La monitorización de la vibración y la temperatura puede proporcionar indicadores tempranos de problemas de lubricación, como la falta de lubricante, el desgaste de los cojinetes o la presencia de partículas contaminantes. Los cambios inusuales en los niveles de vibración o temperatura pueden indicar la necesidad de una inspección más detallada y la implementación de acciones correctivas



# Cuestionario

---



## CUESTIONARIO 3

1. ¿Cuál es una propiedad clave de los lubricantes?
  - a) Viscosidad
  - b) Densidad
  - c) Conductividad térmica
  - d) Punto de fusiónRespuesta correcta: a) Viscosidad
  
2. ¿Qué método de aplicación de lubricantes es adecuado para aplicaciones de lubricación puntual?
  - a) Lubricación Manual
  - b) Lubricación Automatizada
  - c) Lubricación por Inmersión
  - d) Lubricación por CirculaciónRespuesta correcta: a) Lubricación Manual
  
3. ¿Qué tipo de lubricante es ideal para aplicaciones donde la lubricación permanente es necesaria?
  - a) Aceites Minerales
  - b) Aceites Sintéticos
  - c) Grasas Lubricantes
  - d) Lubricantes de SiliconaRespuesta correcta: c) Grasas Lubricantes
  
4. ¿Qué herramienta se utiliza para monitorear la condición de los lubricantes?
  - a) Osciloscopio
  - b) Anemómetro
  - c) Análisis de Aceite
  - d) TermómetroRespuesta correcta: c) Análisis de Aceite
  
5. ¿Cuál es una técnica de diagnóstico para detectar problemas de lubricación?
  - a) Inspección Olfativa
  - b) Inspección Táctil
  - c) Análisis de Vibración
  - d) Análisis de ColorRespuesta correcta: c) Análisis de Vibración
  
6. ¿Qué tipo de lubricante es más adecuado para condiciones extremas de temperatura y presión?
  - a) Aceites Minerales
  - b) Aceites Sintéticos
  - c) Grasas Lubricantes
  - d) Lubricantes de GrafitoRespuesta correcta: b) Aceites Sintéticos



7. ¿Qué método de lubricación es adecuado para aplicaciones donde la lubricación en puntos de difícil acceso es necesaria?
- a) Lubricación Manual
  - b) Lubricación por Goteo
  - c) Lubricación por Inmersión
  - d) Lubricación por Circulación
- Respuesta correcta: d) Lubricación por Circulación
8. ¿Cuál es una ventaja de los lubricantes sintéticos sobre los lubricantes minerales?
- a) Mayor costo
  - b) Mayor compatibilidad con materiales
  - c) Menor resistencia a la oxidación
  - d) Menor estabilidad térmica
- Respuesta correcta: b) Mayor compatibilidad con materiales
9. ¿Qué propiedad de los lubricantes indica su resistencia a la descomposición térmica?
- a) Punto de Fusión
  - b) Punto de Ebullición
  - c) Punto de Inflamación
  - d) Estabilidad Térmica
- Respuesta correcta: d) Estabilidad Térmica
10. ¿Cuál es una desventaja de la lubricación manual?
- a) Alta precisión
  - b) Baja velocidad de aplicación
  - c) Difícil acceso a puntos de lubricación
  - d) Alta inversión inicial
- Respuesta correcta: c) D



# 04

**PROGRAMAS DE  
MANTENIMIENTO**

---

# CAPÍTULO CUATRO

## PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO

### ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO



#### 4.1.1 Introducción

En cualquier entorno industrial, la eficiencia operativa y la confiabilidad de los equipos son cruciales. En este capítulo, vamos a examinar en detalle las tácticas avanzadas de planificación y programación en mantenimiento, enfocándonos en su importancia para aumentar la disponibilidad de los equipos, disminuir los gastos operativos y mejorar el desempeño general de la planta.

La organización y planificación en el mantenimiento industrial son procesos fundamentales que van más allá de simplemente establecer horarios para las labores de mantenimiento. Estas prácticas incluyen una revisión exhaustiva de los recursos, la identificación proactiva de posibles riesgos y la implementación de medidas preventivas y predictivas para garantizar la fiabilidad y la

disponibilidad a largo plazo de los equipos.

Asimismo, la organización y programación eficaces también necesitan una cuidadosa coordinación de recursos humanos, materiales y financieros, así como una integración estratégica con la gestión de activos y la cadena de suministro. En resumen, el propósito de estas estrategias es mejorar el rendimiento operativo de la planta, reduciendo al mínimo los tiempos de inactividad no planificados y maximizando la vida útil y la eficiencia de los equipos.

#### 4.1.2 Importancia Estratégica de la Planificación en el Mantenimiento Preventivo:

La planificación en el mantenimiento preventivo es crucial para garantizar la confiabilidad y disponibilidad a largo plazo de los equipos. Esta práctica implica la identificación

proactiva de posibles fallos y la categorización de actividades de mantenimiento preventivo para impedir tiempos de inactividad costosos e imprevistos.

Al anticipar y encontrarse problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas, las organizaciones pueden corregir la eficiencia activa y bajar los costos asociados con el mantenimiento correctivo. Además, la planificación en el mantenimiento preventivo también logra alargar la vida útil de los equipos y corregir su rendimiento general, lo que contribuye a una operación más segura y rentable de la planta.

La ejecución efectiva de la planificación en el mantenimiento preventivo demanda una agudeza completa de los activos y sus posibles modos de falla. Esto implica la compilación y estudios de datos históricos de mantenimiento, así como la realización de inspecciones y pruebas periódicas para evaluar la condición de los equipos. Con esta información, las organizaciones pueden desarrollar programas de mantenimiento preventivo personalizados que se adapten a las necesidades específicas de sus activos y operaciones. Además, la planificación en el mantenimiento preventivo también implica la asignación eficiente de recursos y la coordinación de actividades para reducir los tiempos de inactividad y extender la disponibilidad de los equipos durante la operación normal. Al adoptar un enfoque sistemático y proactivo para la planificación en el mantenimiento preventivo, las organizaciones pueden optimizar significativamente su confiabilidad operativa y su capacidad para cumplir con los

objetivos de fabricación y eficacia que la empresa busca alcanzar.

#### **4.1.3 Herramientas y Técnicas Avanzadas de Planificación:**

En el ámbito del mantenimiento, existen herramientas y métodos avanzados que van más allá de los sistemas CMMS para la planificación. Estas herramientas abarcan técnicas de análisis de criticidad, modelado de riesgos y predicción de fallos, que permiten una evaluación más precisa del estado y el desempeño de los equipos. Además, la planificación basada en la confiabilidad (RBI) y el análisis de modo de falla y efecto (FMEA) son recursos poderosos para identificar y priorizar las tareas de mantenimiento en función de su posible impacto en la operatividad de la planta. Al hacer uso de estas herramientas y técnicas avanzadas, las organizaciones pueden optimizar sus programas de mantenimiento con el fin de aumentar al máximo la disponibilidad de los equipos y reducir al mínimo los costos operativos.

La adopción de estas herramientas y técnicas avanzadas implica una inversión considerable en tecnología y formación del personal. No obstante, los posibles beneficios son significativos, como una mayor fiabilidad en la operativa, la disminución de tiempos de inactividad no planificados, y la mejora en la eficiencia y rentabilidad de la instalación. Al emplear un enfoque basado en datos y análisis para la planificación del mantenimiento, las organizaciones pueden tomar decisiones más fundamentadas y estratégicas sobre la retribución de recursos y la programación de actividades. En última instancia, la utilización de

herramientas y métodos avanzados de organización puede llevar a una operación de la fábrica más efectiva y productiva, además de aumentar la competitividad en el sector.

#### **4.1.4 Integración Integral con la Gestión de Activos:**

La fusión de la planificación de mantenimiento con la administración de bienes es esencial para mejorar el desempeño de los equipos y aumentar el valor de los activos de la empresa. Al ajustar la estrategia de mantenimiento con los objetivos comerciales y financieros más amplios, las empresas pueden tomar decisiones bien fundamentadas sobre inversiones en activos y asignar recursos de forma eficaz para garantizar la continuidad de las operaciones. Adicionalmente, la unión con el control de bienes también simplifica la valoración del desempeño de los bienes a lo largo del tiempo, lo que posibilita identificar áreas de mejora y posibilidades de optimización. En definitiva, la conexión con la gestión de bienes permite a las empresas maximizar el valor de sus bienes y asegurar la fiabilidad y disponibilidad a largo plazo de los equipos. La efectiva ejecución de la integración con la administración de activos requiere una estrecha colaboración entre los equipos de mantenimiento, operaciones y gestión de activos. Esto implica establecer claramente los roles y responsabilidades, así como implementar procesos y procedimientos estandarizados para asegurar una coordinación efectiva. Además, la integración con la gestión de activos también puede necesitar la implementación de sistemas y herramientas de gestión de activos integrados que permitan el monitoreo y la evaluación del desempeño de los activos en tiempo

real. Al adoptar una orientación integral para la gestión de activos, las organizaciones alcanzan extender el valor de sus activos y garantizar una operación eficiente y rentable a lo largo del tiempo.

#### **4.1.5 Evaluación de Riesgos y Estrategias de Priorización:**

La evaluación de riesgos en la planificación de mantenimiento es fundamental para identificar y mitigar los posibles riesgos asociados con las actividades de mantenimiento. Esto implica la identificación de posibles modos de falla y la evaluación de su impacto potencial en la operación de la planta. Al priorizar las actividades de mantenimiento en función de su criticidad y el riesgo asociado, las organizaciones pueden asignar recursos de manera más eficiente y garantizar que se aborden primero los problemas más críticos. Además, la evaluación de riesgos también puede ayudar a identificar medidas de mitigación y desarrollar estrategias de contingencia para minimizar el impacto de los posibles fallos en la operación de la planta.

La implementación efectiva de estrategias de evaluación de riesgos requiere una comprensión completa de los riesgos potenciales asociados con las actividades de mantenimiento. Esto implica la recopilación y análisis de datos históricos de mantenimiento, así como la realización de evaluaciones periódicas de riesgos para identificar nuevas amenazas y vulnerabilidades. Además, la evaluación de riesgos también puede requerir la implementación de medidas de control y monitoreo para garantizar la eficacia de las estrategias de mitigación. Al adoptar un enfoque sistemático y proactivo para la

evaluación de riesgos, las organizaciones pueden minimizar los riesgos asociados con el mantenimiento de equipos y garantizar la continuidad del negocio a largo plazo.

#### **4.1.6 Planificación Estratégica de Paradas de Planta:**

La planificación de paradas de planta es una actividad compleja que requiere una cuidadosa coordinación y gestión de múltiples recursos y equipos. Desde la identificación de oportunidades de mejora hasta la programación detallada de actividades, una planificación eficaz de paradas de planta puede tener un impacto significativo en la productividad y la rentabilidad de una organización. Al planificar estas paradas de manera estratégica, las organizaciones pueden minimizar el impacto en la producción y garantizar la disponibilidad de los equipos durante la operación normal. Además, las paradas de planta también son una oportunidad para llevar a cabo actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, así como para implementar mejoras y actualizaciones en los equipos y procesos. Al optimizar la planificación de estas paradas, las organizaciones pueden maximizar la eficiencia operativa y reducir los costos operativos a largo plazo.

La planificación estratégica de paradas de planta requiere una comprensión completa de los requisitos de mantenimiento y producción de la planta, así como una coordinación efectiva de recursos y equipos.

En esta fase, es crucial identificar con precisión las necesidades de mantenimiento y las tareas

requeridas durante la parada. Esto puede incluir inspecciones detalladas, mantenimiento preventivo, reparaciones programadas y actualizaciones de equipos. Al mismo tiempo, es importante considerar los objetivos de producción y las fechas límite asociadas con la parada para minimizar la interrupción en la producción.

La colaboración entre los equipos de mantenimiento, operaciones y planificación es esencial para asegurar que todas las partes interesadas estén alineadas en cuanto a los objetivos y la programación de la parada. Esto implica la comunicación abierta y la coordinación de actividades para garantizar que los recursos estén disponibles cuando sean necesarios y que las tareas se completen de manera oportuna.

Además, la implementación de procesos y procedimientos estandarizados puede ayudar a garantizar una ejecución eficiente de la parada. Esto puede incluir la creación de listas de verificación detalladas, la asignación clara de responsabilidades y la programación meticulosa de actividades. Al seguir un enfoque estructurado y metódico, las organizaciones pueden minimizar los errores y maximizar la eficiencia durante la parada.

La implementación de sistemas y herramientas de programación avanzadas también puede facilitar una coordinación y programación efectiva durante la parada. Esto puede incluir software de gestión de proyectos, sistemas de seguimiento de activos y herramientas de comunicación en tiempo real. Al aprovechar la tecnología, las organizaciones pueden mejorar la



visibilidad y el control sobre las actividades de la parada, lo que les permite tomar decisiones más

.

.

informadas y responder de manera proactiva a los desafíos que puedan surgir

## MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)



### 4.2.1 Introducción al TPM

El Mantenimiento Total Productivo (TPM) es una estrategia de administración que tiene como objetivo maximizar la eficacia de los equipos y procesos de producción a través de la participación de todos los integrantes de la organización. En su especialidad, el TPM va más allá del mantenimiento convencional al centrarse en la eliminación de desperdicios y la optimización de la productividad en todas las áreas de producción. Surgió en Japón a finales de los años 60 como parte de la filosofía de producción de Toyota, y desde entonces se ha convertido en un elemento clave para mejorar la competitividad y la excelencia en la industria. La introducción al TPM aborda la definición de los conceptos fundamentales, como los ocho pilares del TPM, y resalta la importancia de esta estrategia en el contexto actual de la industria.

### 4.2.2 Los ocho pilares del TPM

Los ocho pilares del TPM son los fundamentos sobre los cuales se

sustenta esta metodología de gestión. Cada pilar representa un aspecto clave que debe abordarse para lograr una implementación exitosa del TPM en una organización. Estos pilares incluyen:

- 1 Mejora autónoma, donde los operadores participan activamente en el mantenimiento de sus equipos;
- 2 Planificación de mantenimiento programado, que se enfoca en la organización de actividades de mantenimiento para evitar interrupciones no planificadas.
- 3 Mantenimiento orientado a la eficiencia, que busca mejorar la productividad y la fiabilidad de los equipos.
- 4 Inspección inicial de los equipos, que implica el diseño de equipos confiables y fáciles de mantener.
- 5 Formación y capacitación, que asegura que todos los miembros del equipo estén preparados para participar en el TPM.
- 6 Gestión de la seguridad, salud y medio ambiente, que garantiza un entorno de trabajo seguro y sostenible.;

- 7 Gestión de la calidad en el origen, que busca prevenir defectos desde el principio; y
- 8 Actividades de oficina administrativas, que incluyen la aplicación de los principios del TPM en áreas administrativas y de soporte.

#### 4.2.3 Métodos y herramientas clave del TPM

El éxito del TPM depende en gran medida de la implementación efectiva de una serie de métodos y herramientas clave. Entre estos, destaca el mantenimiento autónomo, que involucra a los operadores en las tareas de mantenimiento diario para mejorar la confiabilidad de los equipos y reducir los tiempos de inactividad. Además, el mantenimiento planificado permite programar actividades de mantenimiento de manera eficiente para minimizar el impacto en la producción. El mantenimiento centrado en la productividad se centra en mejorar la eficiencia de los equipos mediante la identificación y eliminación de pérdidas. Otros métodos y herramientas incluyen el control inicial del equipo, que implica el diseño de equipos fiables y fáciles de mantener, y la educación y capacitación del personal para garantizar su participación activa en el TPM.

#### 4.2.4 Implementación del TPM paso a paso

La implementación del TPM requiere una planificación cuidadosa y una ejecución disciplinada. Comienza con la preparación y planificación, donde se establecen los objetivos y se forma un equipo de implementación. La fase de lanzamiento implica la formación del equipo en los conceptos y principios

del TPM, así como la identificación de áreas de mejora prioritarias. Una vez iniciadas las actividades de mejora, se realiza un seguimiento y se realiza una mejora continua para garantizar que se alcancen los objetivos establecidos. A lo largo de este proceso, es crucial la participación y el compromiso de todos los miembros de la organización, desde la alta dirección hasta los operadores de línea.



#### 4.2.5 Medición y seguimiento del rendimiento TPM

La medición y el seguimiento del rendimiento son aspectos fundamentales del TPM para evaluar la eficacia de las iniciativas de mejora y garantizar el cumplimiento de los objetivos. Los indicadores clave de rendimiento (KPIs) se utilizan para medir el desempeño de los equipos y procesos en relación con los objetivos del TPM. Uno de los KPIs más importantes es el OEE (Overall Equipment Effectiveness), que mide la eficiencia global de los equipos teniendo en cuenta el tiempo de disponibilidad, el rendimiento y la calidad. Otros KPIs pueden incluir la tasa de cumplimiento de los planes de mantenimiento, el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio para reparar (MTR).

#### 4.2.6 Integración del TPM con otras metodologías



La integración del TPM con otras metodologías de mejora continua, como Lean Manufacturing y Six Sigma, puede potenciar los resultados y generar sinergias. Lean Manufacturing se centra en la eliminación de desperdicios y la optimización de los procesos, lo que se alinea perfectamente con el objetivo del TPM de eliminar pérdidas y mejorar la eficiencia. Por otro lado, Six Sigma se enfoca en la reducción de variabilidad y la mejora de la calidad, lo que complementa los esfuerzos del TPM en la gestión de la calidad en el origen. La combinación de estas metodologías puede conducir a mejoras significativas en la productividad, la calidad y la eficiencia en toda la organización.

#### **4.2.7 Desafíos comunes en la implementación del TPM**

Aunque el TPM ofrece numerosos beneficios, su implementación puede enfrentar una serie de desafíos. Algunos de los desafíos comunes incluyen la resistencia al cambio por parte del personal, la falta de compromiso de la alta dirección, los problemas de gestión

del tiempo y los recursos limitados. Es importante identificar y abordar estos desafíos de manera proactiva para garantizar el éxito del TPM. Esto puede implicar la realización de sesiones de sensibilización y capacitación, la asignación de recursos adecuados y la creación de un entorno de trabajo que fomente la participación y la colaboración.

#### **4.2.8 Tendencias futuras y evolución del TPM**

El TPM continúa evolucionando para adaptarse a los cambios en la industria y aprovechar las nuevas tecnologías y enfoques. Algunas de las tendencias futuras en el TPM incluyen el uso de tecnologías emergentes, como el Internet de las cosas (IoT) y el análisis de datos avanzado, para mejorar la monitorización y el mantenimiento predictivo de los equipos. Además, se espera que el enfoque en la sostenibilidad y la responsabilidad social corporativa tenga un papel cada vez más importante en el desarrollo del TPM, con un énfasis en prácticas ecoeficientes y la reducción del impacto ambiental.

## GESTIÓN DE REPUESTOS



### 4.3.1 Introducción

La gestión de repuestos en el mantenimiento industrial es un aspecto crucial para garantizar la continuidad operativa y la eficiencia de los procesos productivos. Desde la perspectiva del mantenimiento, asegurar la disponibilidad oportuna de repuestos adecuados es esencial para minimizar los tiempos de inactividad no planificados y optimizar la confiabilidad de los equipos. En esta sección introductoria, exploraremos la importancia de la gestión de repuestos y sus implicaciones en el contexto del mantenimiento industrial.

#### Importancia de una Gestión Efectiva de Repuestos

La gestión de repuestos desempeña un papel fundamental en el mantenimiento industrial al garantizar la disponibilidad de piezas críticas para la operación continua de la maquinaria y equipos. La falta de repuestos adecuados puede resultar en tiempos de inactividad prolongados, lo que a su vez conduce a pérdidas financieras significativas y afecta la

competitividad de la organización en el mercado. Por lo tanto, una gestión efectiva de repuestos es esencial para minimizar los riesgos asociados con el mantenimiento y maximizar la eficiencia operativa.

#### Objetivos de la Gestión de Repuestos

Garantizar la disponibilidad oportuna de repuestos para mantener la continuidad operativa de la planta. Optimizar los niveles de inventario para minimizar los costos asociados con el almacenamiento y reabastecimiento de repuestos. Maximizar la eficiencia operativa al reducir los tiempos de inactividad relacionados con la falta de repuestos.

### 4.3.2 Clasificación de Repuestos Críticos, Mínimos y Máximos

La clasificación de repuestos en diferentes categorías es esencial para establecer políticas de inventario efectivas y garantizar una gestión eficiente de los recursos disponibles.

#### Repuestos Críticos

Los repuestos críticos son aquellos cuya falta puede tener un impacto significativo en la operación de la planta o la seguridad de las operaciones. Identificar y clasificar correctamente los repuestos críticos es fundamental para priorizar la gestión de inventario y garantizar la disponibilidad de piezas clave cuando más se necesitan.

#### Repuestos Mínimos y Máximos

Los repuestos mínimos son aquellos necesarios para mantener la operación básica de los equipos, mientras que los repuestos máximos representan el nivel máximo de inventario que se debe mantener para evitar interrupciones en la producción. Establecer niveles adecuados de repuestos mínimos y máximos es crucial para equilibrar la disponibilidad de repuestos con los costos asociados con el almacenamiento y reabastecimiento.

#### 4.3.3 Métodos de Pronóstico de Demanda para Repuestos

La demanda de repuestos puede variar significativamente en función de factores como la vida útil de los equipos, los ciclos de producción y las condiciones operativas. Utilizar métodos de pronóstico de demanda precisos es fundamental para determinar la cantidad adecuada de repuestos a mantener en stock y evitar tanto la escasez como el exceso de inventario.

#### Métodos Cualitativos

Los métodos cualitativos, como el análisis de expertos y la técnica Delphi, se basan en la experiencia y el juicio humano para prever la demanda futura de repuestos. Estos métodos son útiles cuando no se

dispone de datos históricos confiables o cuando se enfrentan situaciones de incertidumbre.

#### Métodos Cuantitativos

Los métodos cuantitativos, como la suavización exponencial y los modelos de regresión, utilizan datos históricos para prever la demanda futura de repuestos. Estos métodos son más adecuados cuando se dispone de datos históricos confiables y se pueden aplicar técnicas estadísticas avanzadas para analizar patrones y tendencias.

#### 4.3.4 Estrategias para Optimizar el Inventario de Repuestos

Optimizar el inventario de repuestos implica encontrar el equilibrio adecuado entre garantizar la disponibilidad de piezas críticas y minimizar los costos asociados con el almacenamiento y reabastecimiento.

#### Gestión de Inventarios ABC

La gestión de inventarios ABC clasifica los repuestos en función de su importancia relativa y consumo. Esta técnica permite priorizar la gestión de repuestos críticos mientras se optimiza el manejo de repuestos de menor importancia.

#### Implementación de Justo a Tiempo (JIT)

El enfoque Justo a Tiempo (JIT) consiste en adquirir repuestos solo cuando son necesarios, lo que ayuda a minimizar el exceso de inventario y los costos asociados con el almacenamiento. Implementar JIT requiere una planificación cuidadosa y una estrecha colaboración con proveedores confiables.

#### 4.3.5 Implementación de Sistemas de Gestión de Repuestos

Los sistemas de gestión de repuestos son herramientas tecnológicas que automatizan y optimizan los procesos asociados con la gestión de inventario y la solicitud de repuestos.

##### Selección de Sistemas de Gestión de Repuestos

Seleccionar el sistema de gestión de repuestos adecuado implica evaluar las necesidades específicas de la organización y buscar soluciones que ofrezcan funcionalidades personalizables y una interfaz intuitiva. Es fundamental seleccionar un sistema que se integre fácilmente con otros sistemas de gestión y que permita una fácil escalabilidad para adaptarse al crecimiento futuro de la organización.

##### Integración con Otros Sistemas

La integración de sistemas de gestión de repuestos con otros sistemas, como sistemas de mantenimiento preventivo y sistemas de gestión de almacenes, mejora la visibilidad y la coordinación en toda la cadena de suministro. Integrar sistemas permite una gestión más eficiente de inventario y una respuesta más rápida a las necesidades de repuestos.

#### 4.3.6 Rol de la Logística en la Gestión de Repuestos

La logística desempeña un papel crucial en la gestión de repuestos al garantizar la entrega oportuna de componentes desde los proveedores hasta las instalaciones.

##### Gestión de Rutas de Envío

La gestión eficaz de rutas de envío implica planificar y optimizar el transporte de repuestos para minimizar los tiempos de tránsito y los costos asociados con la entrega. Utilizar rutas de envío eficientes y proveedores confiables garantiza la entrega oportuna de repuestos y reduce el riesgo de interrupciones en la producción.

##### Gestión de Inventarios en Tránsito

Gestionar inventarios en tránsito implica monitorear y rastrear el movimiento de repuestos desde el proveedor hasta las instalaciones. Utilizar tecnologías de seguimiento en tiempo real permite una visibilidad completa de los repuestos durante el transporte y facilita la planificación y coordinación de la recepción de repuestos.

#### 4.3.7 Análisis de Costos en la Gestión de Repuestos

Realizar un análisis detallado de los costos asociados con la gestión de repuestos es fundamental para evaluar la eficacia de las políticas de gestión de inventario y tomar decisiones informadas sobre la gestión de repuestos.

##### Costos de Almacenamiento

Evaluar los costos de almacenamiento incluye considerar el espacio de almacenamiento, los costos de mano de obra y los costos asociados con la manipulación de repuestos. Identificar oportunidades para reducir los costos de almacenamiento mediante técnicas de optimización de almacenes y gestión de inventario contribuye a mejorar la rentabilidad de la gestión de repuestos.

#### Costos de Escasez y Tiempos de Inactividad

Estimar los costos asociados con la escasez de repuestos y los tiempos de inactividad no planificados permite cuantificar el impacto financiero de las interrupciones en la producción. Estos costos incluyen pérdidas de producción, costos de reparación urgentes y daños a la reputación de la empresa. Analizar los costos de escasez y tiempos de inactividad ayuda a justificar inversiones en políticas de gestión de repuestos más efectivas y a mejorar la rentabilidad general de la operación.

#### 4.3.8 Tecnologías Emergentes en la Gestión de Repuestos

Las tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas (IoT), están transformando la forma en que se gestionan los repuestos en el mantenimiento industrial.

##### Internet de las Cosas (IoT) en la Gestión de Repuestos

El Internet de las Cosas (IoT) se utiliza para monitorear el estado y el rendimiento de los equipos en tiempo real. Los sensores IoT integrados en los equipos recopilan datos operativos que se utilizan para predecir fallos y planificar el reabastecimiento de repuestos de manera proactiva. La integración de datos de IoT con sistemas de gestión de repuestos permite una

planificación más eficiente del mantenimiento y una respuesta más rápida a las necesidades de repuestos.

#### 4.3.9 Capacitación y Desarrollo en Gestión de Repuestos

La capacitación y el desarrollo del personal son aspectos fundamentales para garantizar una gestión efectiva de repuestos en el mantenimiento industrial.

##### Programas de Capacitación en Gestión de Inventarios

Desarrollar programas de capacitación internos permite mejorar la comprensión de los principios y prácticas de gestión de inventario entre el personal. Los programas de capacitación incluyen temas como clasificación de repuestos, técnicas de pronóstico de demanda y uso de sistemas de gestión de repuestos.

##### Desarrollo de Habilidades Técnicas

Fomentar el desarrollo de habilidades técnicas relacionadas con la identificación y selección de repuestos adecuados es esencial para mejorar la eficiencia en la gestión de inventario. Proporcionar oportunidades de capacitación en técnicas de negociación y gestión de proveedores mejora las relaciones con los proveedores de repuestos y garantiza la disponibilidad oportuna de piezas críticas



# B1

**BIBLIOGRAFÍA**

---



# Bibliografía

Alonso García, M. (2019). Mantenimiento industrial: Fundamentos, organización y gestión. Paraninfo.

Cardoso, R. (2020). Análisis de vibraciones en máquinas: Conceptos básicos y aplicaciones prácticas. Editorial Marcombo.

García Paredes, J. (2018). Lubricación industrial: Teoría y aplicación en mantenimiento mecánico. Alfaomega.

Pérez Álvarez, E. (2017). Fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de sistemas electromecánicos. Editorial Díaz de Santos.

Rodríguez, F. J. (2016). Planificación y programación de mantenimiento industrial. McGraw-Hill Interamericana.

Silva, A. R. (2021). Mantenimiento preventivo y predictivo de equipos industriales. Limusa.

Vázquez, R. (2018). Mantenimiento de máquinas eléctricas: Diagnóstico y solución de fallas. Editorial Reverté

.



**INSTITUTO SUPERIOR  
TECNOLÓGICO PELILEO**

# **CLIMATIZACIÓN Y REFRIGERACIÓN GUÍA DE ESTUDIO**

---

Ing. Francisco Jara



# CLIMATIZACIÓN Y REFRIGERACIÓN

## Francisco Jara

### Directorio editorial institucional

Dr. Rodrigo Mena Mg. Rector  
Mg. Sandra Cando Coordinadora Institucional  
Mg. Oscar Toapanta Coordinador de I+D+i  
Ing. Johanna Iza Líder de Publicaciones

### Diseño y diagramación

Mg. Belén Chávez  
Mg. Santiago Mayorga

### Revisión técnica de pares académicos

Nombre del Revisor 1: Ing. Cesar Pinto  
IST PELILEO

Correo: [cepinto@institutos.gob.ec](mailto:cepinto@institutos.gob.ec)

Nombre del Revisor 2: Ing. Darío Llanga, Mg.  
IST PELILEO

Correo: [dllanga@institutos.gob.ec](mailto:dllanga@institutos.gob.ec)

ISBN: 978-9942-686-28-2

Primera edición

Agosto 2024

<https://istp.edu.ec>

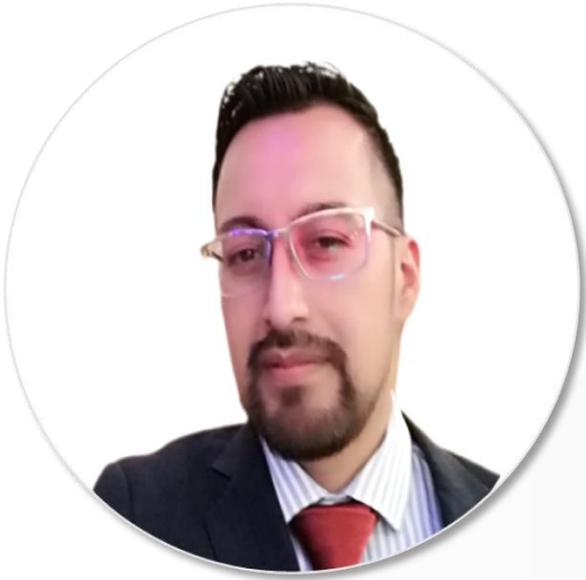
*Usted es libre de compartir, copiar la presente guía en cualquier medio o formato, citando la fuente, bajo los siguientes términos: Debe dar crédito de manera adecuada, bajo normas APA vigentes, fecha, página/s. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma arbitraria sin hacer uso de fines de lucro o propósitos comerciales; debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original. No puede aplicar restricciones digitales que limiten legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia*

Esta obra está bajo una licencia internacional [licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)





# AUTOR



*Ing. Francisco Jara, Mg.*  
**DOCENTE**

Ingeniero Mecánico con experiencia en Mantenimiento, Producción y Gestión de Calidad

Soy un Ingeniero Mecánico con más de 10 años en la optimización de procesos industriales, enfocado en lograr la excelencia operativa en sectores clave como la industria. En mi gestión se ha caracterizado por la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo, garantizando la continuidad operativa y la máxima eficiencia de los equipos críticos en entornos exigentes.

Como Jefe de Producción en una empresa ensambladora de buses, lideré la reingeniería de procesos productivos, reduciendo tiempos de ciclo y mejorando la eficiencia general, lo que resultó en un incremento significativo en la capacidad de producción sin comprometer la calidad. Posteriormente, como Coordinador de Producción y Control de Calidad en otra ensambladora, implementé rigurosos sistemas de control de calidad y gestión de riesgos, alineados con estándares internacionales, logrando una notable reducción de fallas en los productos terminados y mejorando la satisfacción del cliente.

En el ámbito académico, desde 2017, he desempeñado un rol como docente en el Instituto Pelileo, en donde se imparten clases en la carrera de tecnología en electromecánica fomentando la excelencia y el desarrollo de competencias prácticas y la inserción laboral de mis estudiantes.

Además, como asesor de sistemas integrados de gestión de calidad bajo normativas ISO, he guiado a diversas empresas hacia la obtención de certificaciones internacionales, optimizando sus procesos internos para cumplir con los más altos estándares de calidad, seguridad y sostenibilidad. Mi asesoría ha permitido a estas organizaciones mejorar su competitividad en mercados altamente regulados, con un enfoque en la mejora continua y la innovación.

Con una combinación de experiencia técnica, liderazgo y un enfoque hacia la excelencia operativa, mi objetivo es seguir aportando soluciones innovadoras y sostenibles en el campo de la ingeniería y la gestión de calidad.



# PRÓLOGO

Vivimos en una era de innovación constante, donde la tecnología no solo redefine la forma en que nos conectamos con el mundo, sino también cómo controlamos nuestro entorno más inmediato. La climatización y la refrigeración, una vez consideradas simples comodidades, hoy son pilares fundamentales de la infraestructura moderna, desde la preservación de alimentos hasta la creación de ambientes habitables en los climas más extremos.

En un escenario global donde la eficiencia energética y el impacto medioambiental se han convertido en preocupaciones cruciales, la ingeniería detrás de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado ha evolucionado vertiginosamente. Este libro se sumerge profundamente en los principios fundamentales, pero también explora soluciones tecnológicas de vanguardia que marcan el futuro del sector.

Con un enfoque práctico y didáctico, este texto está diseñado

tanto para el ingeniero que busca optimizar sus conocimientos como para el técnico que día a día enfrenta los desafíos del mantenimiento y selección de equipos. Las bases teóricas son abordadas con precisión, mientras que los casos prácticos y ejemplos detallados sirven como una guía clara para la implementación en el campo.

Al abrir estas páginas, no solo accedes a un compendio técnico, sino a una visión amplia y actualizada de un mundo que está en constante cambio. Desde los avances en refrigerantes más eficientes y sostenibles hasta las innovaciones en sistemas de doble etapa y cascada, este libro es una invitación a explorar el futuro de la climatización y refrigeración con las herramientas y el conocimiento que moldearán el mundo de mañana.

Bienvenidos al futuro de la tecnología aplicada al confort y la preservación





**INSTITUTO SUPERIOR  
TECNOLÓGICO PELILEO**

# **TOMO 2: CLIMATIZACIÓN Y REFRIGERACIÓN**

---

Ing. Francisco Jara



# 05

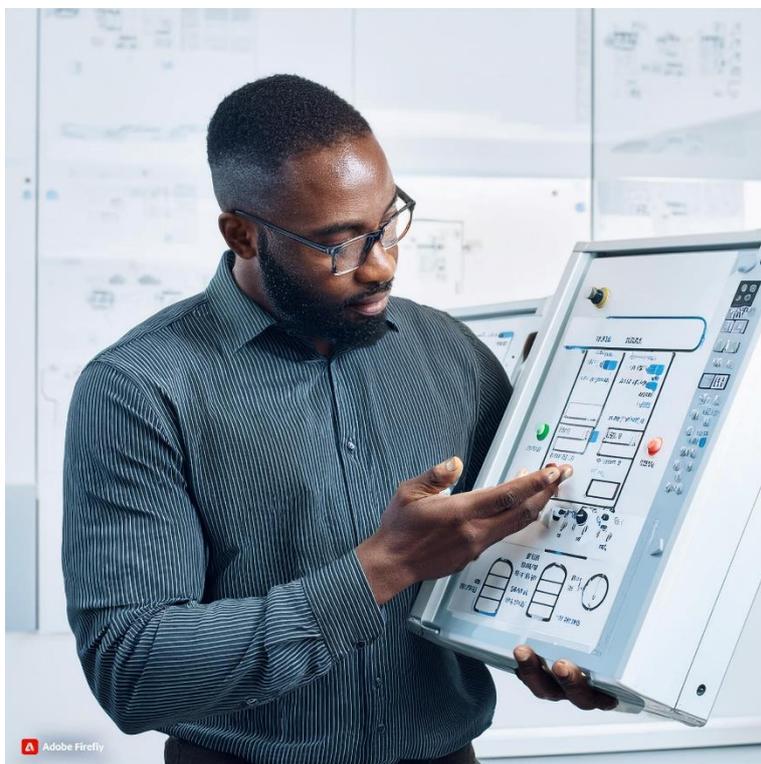
## Fundamentos de Refrigeración

---

# CAPÍTULO CINCO

## FUNDAMENTOS DE REFRIGERACIÓN

### Generalidades



#### 5.1.1 Introducción

La refrigeración es un proceso crucial en múltiples aplicaciones, desde la conservación de alimentos hasta la climatización de edificios y el mantenimiento de equipos industriales. Para entender este fenómeno, es fundamental explorar los principios termodinámicos que lo sustentan, así como los ciclos de refrigeración que se utilizan en la práctica.

#### 5.1.2 Principios Básicos de la Termodinámica Aplicados a la Refrigeración

La termodinámica se centra en cómo la energía se transforma y se transfiere entre sistemas. En el contexto de la refrigeración, hay

varios conceptos clave que son esenciales:

##### 5.1.2.1 Primera Ley de la Termodinámica

Esta ley establece que la energía no se puede crear ni destruir; solo se transforma de una forma a otra. En los sistemas de refrigeración, esto implica que el calor extraído del espacio a enfriar ( $Q$ ), es igual al trabajo realizado ( $W$ ) en el sistema y que está dado por el compresor más cualquier energía perdida en el proceso. Este principio es crucial para el diseño de sistemas eficientes que maximicen la energía utilizada para el enfriamiento.

Esto se puede representar con la ecuación:



$$Q_{in} - Q_{out} = W$$

Donde  $Q_{in}$  es el calor absorbido del ambiente,  $Q_{out}$  es el calor liberado al exterior, y  $W$  es el trabajo realizado por el compresor.

Por ejemplo, si un refrigerante absorbe 500 joules de calor mientras se evapora, el compresor debe hacer un trabajo equivalente para mantener el ciclo en funcionamiento.

### 5.1.2.2 Segunda Ley de la Termodinámica

Esta ley introduce el concepto de entropía, que puede entenderse como una medida de desorden o aleatoriedad en un sistema. Según esta ley, el calor naturalmente fluye de un cuerpo caliente a uno frío, y no al revés, a menos que se realice trabajo. Por ello, los sistemas de refrigeración requieren energía (trabajo) para mover el calor en contra de su flujo natural, lo que se traduce en la necesidad de un compresor en el ciclo de refrigeración.

**Direccionalidad del Calor:** Establece que el calor fluye de un cuerpo caliente a uno frío de forma natural, a menos que se aplique energía. En refrigeración, esto se logra mediante el compresor que realiza trabajo para mover el calor del interior del refrigerador al exterior.

Ejemplo Práctico:

En un aire acondicionado, el refrigerante absorbe calor del interior y lo libera al exterior, funcionando a través de un ciclo termodinámico cerrado.

**Entropía:** Este concepto es clave en la evaluación del rendimiento de un sistema. En un ciclo ideal, la entropía debería permanecer constante, pero en la práctica, siempre hay un aumento de entropía debido a pérdidas.

### 5.1.3 Ciclo Termodinámico

En la refrigeración, el refrigerante pasa por diferentes estados termodinámicos (líquido, vapor) a medida que se somete a cambios de presión y temperatura. Este ciclo puede representarse gráficamente en un diagrama de presión-volumen (P-V), donde se pueden identificar las diferentes fases del ciclo (compresión, condensación, expansión y evaporación).

### Diagramas de P-V y T-S

Los diagramas permiten visualizar los cambios de estado del refrigerante a lo largo del ciclo. Un diagrama T-S puede mostrar cómo, en la etapa de evaporación, el refrigerante líquido absorbe calor y se convierte en vapor, aumentando su entropía.

Aplicación:

Estos diagramas son útiles en la formación de técnicos, ya que ayudan a identificar puntos críticos donde se puede mejorar la eficiencia del sistema.

### 5.1.4 Ciclo de Refrigeración por Compresión de Vapor

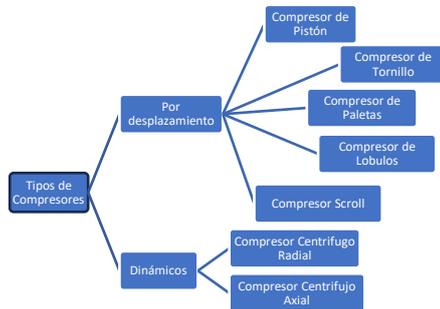
El ciclo de refrigeración por compresión de vapor es el modelo más comúnmente utilizado. Este ciclo consta de cuatro etapas principales, cada una con su función específica:

### 5.1.4.1 Compresión

En esta fase, el refrigerante en estado de vapor ingresa al compresor, donde es sometido a un aumento de presión y temperatura. Este proceso se realiza a volumen constante. La compresión se lleva a cabo utilizando un compresor. La energía eléctrica se convierte en energía mecánica, y el refrigerante sale del compresor a alta presión y temperatura.

#### 5.1.4.1.1 Tipos de Compresores

Los compresores son componentes clave en este ciclo.



Entre estos tipos se pueden describir los siguiente

#### Alternativos:

Utilizan pistones para comprimir el refrigerante.

#### Rotativos:

Funcionan mediante el movimiento de un rotor dentro de una carcasa.

#### Scroll:

Comprimen el refrigerante mediante dos espirales, proporcionando un funcionamiento suave y silencioso.

Eficiencia: La eficiencia del compresor se mide a menudo en términos de energía consumida por

cada unidad de refrigeración proporcionada, siendo vital para optimizar el funcionamiento del sistema.

### 5.1.4.2 Condensación

El vapor de refrigerante, ahora caliente y a alta presión, entra en el condensador. En esta etapa, el refrigerante cede calor al medio ambiente (aire o agua) y se condensa en un líquido. Este proceso se realiza a presión constante, y durante la condensación, el refrigerante pasa de ser vapor a líquido, liberando calor en el proceso.

#### 5.1.4.2.1 Tipos de Condensadores

Existen varios tipos de condensadores:

##### Condensadores de Aire:

Utilizan aire ambiente para enfriar el refrigerante.

##### Condensadores de Agua:

Utilizan agua, ofreciendo una mayor eficiencia en climas cálidos.

##### Condensadores Evaporativos:

Combinan el aire y el agua para maximizar la transferencia de calor.

Eficiencia: La eficiencia del condensador se ve afectada por factores como el flujo de aire, la temperatura del refrigerante y la calidad del intercambio térmico.

### 5.1.4.3 Expansión

Una vez que el refrigerante se ha condensado, fluye hacia la válvula de expansión, donde su presión se

reduce bruscamente. Este proceso provoca una disminución de la temperatura del refrigerante, lo que lo prepara para entrar en el evaporador. La válvula de expansión puede ser manual o automática y su función es controlar la cantidad de refrigerante que ingresa al evaporador.

#### 5.1.4.3.1 Tipos de Válvulas de Expansión

La válvula de expansión puede ser:

##### **Termostática:**

Regula el flujo de refrigerante en función de la temperatura del evaporador.

##### **Electrónica:**

Ofrece un control más preciso del flujo de refrigerante.

Importancia: Una válvula mal ajustada puede causar problemas de sobrecalentamiento o sobre enfriamiento del evaporador, afectando el rendimiento general.

#### 5.1.4.4 Evaporación

Finalmente, el refrigerante líquido entra en el evaporador, donde absorbe calor del ambiente o del producto que se desea enfriar. A medida que el refrigerante absorbe calor, se evapora y vuelve a convertirse en vapor, completando el ciclo. Este proceso es clave para el efecto de refrigeración, ya que permite extraer calor del espacio a enfriar.

Factores que Afectan la Eficiencia:

La superficie de intercambio de calor, la velocidad del aire y la

temperatura del refrigerante influyen en la efectividad del evaporador.

Elementos como el diseño del evaporador (tubos aletados, placas), el flujo de aire y la temperatura del refrigerante son críticos.

#### 5.1.5 Ciclos Reales de Refrigeración por Compresión

Los ciclos de refrigeración reales presentan desafíos que afectan su eficiencia y rendimiento. Algunas consideraciones incluyen:

**Pérdidas de Energía:** En la práctica, hay múltiples fuentes de pérdida de energía, como la fricción en las tuberías, la resistencia térmica en intercambiadores de calor y fugas de refrigerante. Estas pérdidas pueden reducir el rendimiento del sistema, lo que hace necesario diseñar sistemas eficientes que minimicen estas pérdidas.

**Eficiencia y COP:** La eficiencia de un sistema de refrigeración se mide con el Coeficiente de Rendimiento (COP). Este valor se calcula como la relación entre el calor extraído (en la zona fría) y el trabajo realizado por el compresor.

$$\text{COP} = Q_{\text{frío}} / W$$

Un COP más alto indica un sistema más eficiente, lo que significa que se está extrayendo más calor con menos consumo energético. La optimización de cada componente del sistema es crucial para lograr un COP alto, lo que puede incluir la selección adecuada del refrigerante y la mejora del diseño de intercambiadores de calor.

Aspectos Ambientales:



La elección del refrigerante también está influenciada por consideraciones ambientales, especialmente en relación con el potencial de agotamiento del ozono (ODP) y el potencial de calentamiento global (GWP).

Por lo tanto, la elección de refrigerantes alternativos y la mejora de la eficiencia energética son pasos importantes para reducir el impacto ambiental de los sistemas de refrigeración.

### **5.1.6 Ciclos de Refrigeración de Doble Etapa y Cascada**

#### **5.1.6.1 Ciclos de Doble Etapa**

Utilizan dos compresores que trabajan a diferentes niveles de presión

**Ventajas:** Este enfoque reduce el trabajo de compresión en cada etapa, lo que mejora la eficiencia general. Por ejemplo, en aplicaciones de refrigeración de alimentos, este ciclo permite mantener temperaturas más bajas sin comprometer la eficiencia energética.

Esta configuración ayuda a reducir la carga de trabajo en cada compresor, lo que puede prolongar su vida útil.

#### **5.1.6.2 Ciclos en Cascada**

Consisten en dos ciclos independientes, cada uno diseñado para un rango de temperatura específico

**Configuración:**

En un ciclo en cascada, el primer ciclo puede utilizar un refrigerante

que opera a altas temperaturas, mientras que el segundo utiliza uno diseñado para temperaturas más bajas.

Esta configuración es ideal para aplicaciones que requieren enfriamiento criogénico, como en la conservación de materiales sensibles.

### **5.1.7 Ciclo de Absorción**

El ciclo de absorción es una alternativa a los sistemas de compresión que utiliza energía térmica

#### **5.1.7.1 Proceso de Absorción**

**Componentes:** Un ciclo de absorción típico incluye un generador, un condensador, un evaporador y un absorbente.

Un refrigerante, como el amoníaco, se disuelve en un absorbente (agua o bromuro de litio). Este proceso libera calor y se realiza a baja presión. La absorción permite que el refrigerante permanezca en forma líquida en el sistema.

El uso de energía térmica (en lugar de eléctrica) lo hace atractivo para aplicaciones donde se dispone de calor residual.

#### **5.1.7.2 Generación de Vapor**

En el generador, se aplica calor a la solución, provocando la evaporación del refrigerante. Este vapor se utiliza para enfriar el espacio objetivo. Fuentes de energía como calderas o energía solar pueden utilizarse, lo que permite la implementación en situaciones donde hay calor residual disponible.



### 5.1.7.3 Condensación y Desorción

Después de la evaporación, el vapor se condensa en el condensador, liberando calor. Posteriormente, el refrigerante se separa del absorbente en el generador, completando el ciclo. Este proceso es eficiente en contextos donde se puede aprovechar el calor residual, como en aplicaciones industriales.

### 5.1.7.4 Ventajas del Ciclo de Absorción

**Eficiencia Energética:** Estos sistemas pueden operar con eficiencia energética superior, especialmente en instalaciones industriales donde se genera calor como parte del proceso.

**Aplicaciones:** El ciclo de absorción se utiliza comúnmente en sistemas de climatización de edificios grandes y en procesos industriales donde el calor residual puede aprovecharse.

#### Desafíos

#### **Requerimientos de Mantenimiento:**

Aunque los sistemas de absorción son eficientes, requieren un mantenimiento regular para garantizar que los niveles de refrigerante y absorbente sean óptimos.

#### **Guía de Mantenimiento:**

Desarrollar un manual que detalle los puntos críticos a revisar, como niveles de absorbente y eficiencia de componentes, puede ser beneficioso para los operadores

### 5.1.8 Cálculo de la Potencia Frigorífica

La potencia frigorífica es la capacidad de un sistema de refrigeración para extraer calor de un espacio a una temperatura inferior y desecharlo a una temperatura superior. Se mide en kilovatios (kW) o toneladas de refrigeración (TR), donde 1 TR = 3.517 kW.

#### Fórmula General

El cálculo de la potencia frigorífica se basa en la cantidad de calor que se debe remover para mantener una temperatura específica. La fórmula principal es:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Donde:

- Q = es la potencia frigorífica (en kW o TR).
- M= es el caudal de masa del aire o fluido (kg/s).
- C<sub>p</sub>= es el calor específico del fluido (kJ/kg·K).
- ΔT = es la diferencia de temperatura entre el inicio y el final del proceso de refrigeración (K o °C).

### 5.1.8.1 Factores que Afectan la Potencia

#### **Flujo de Masa:**

Un mayor flujo implica una mayor capacidad de absorción de calor.

#### **Condiciones Ambientales:**

La temperatura y la humedad del entorno influyen en la carga térmica.

#### **Aislamiento:**

Un mejor aislamiento reduce la carga térmica, disminuyendo la potencia necesaria



### 5.1.9 Selección de Equipos de Refrigeración

La selección de equipos de refrigeración es un proceso crítico que garantiza la eficiencia y eficacia del sistema.

Se debe considerar varios factores que aseguren un rendimiento óptimo.

#### 5.1.9.1 Factores Clave para la Selección

##### Carga Térmica

Realizar un cálculo preciso de la carga térmica para dimensionar el equipo.

##### Tipo de Refrigerante:

Elegir un refrigerante adecuado en función de la normativa y el impacto ambiental.

##### Eficiencia Energética:

Optar por equipos con alta eficiencia energética para reducir costos operativos.

Tipos de Equipos

##### Sistemas de Compresión de Vapor:

Comunes en aplicaciones comerciales, son eficientes y versátiles.

##### Sistemas de Absorción:

Utilizan calor para operar, ideales en lugares donde hay disponibilidad de energía térmica.

##### Ventajas y Desventajas

Cada tipo de sistema tiene sus ventajas y desventajas. Por ejemplo, los sistemas de compresión son más comunes, mientras que los de absorción son preferidos en ciertas aplicaciones industriales.

##### Normativas y Regulaciones

Es fundamental estar al tanto de las normativas que regulan el uso de refrigerantes y la eficiencia energética de los equipos. Esto asegura que el sistema cumpla con las regulaciones ambientales.

### 5.1.10 Propiedades Físico-Químicas de los Refrigerantes

Las propiedades físico-químicas de los refrigerantes son determinantes para el rendimiento del ciclo de refrigeración.

Estas propiedades afectan la eficiencia y el impacto ambiental de los sistemas.

##### Propiedades Críticas

##### Capacidad Calorífica:

Influye en la cantidad de calor que el refrigerante puede absorber o liberar.

##### Densidad:

Afecta la eficiencia del ciclo y el tamaño del sistema.

##### Presión de Vapor:

Un refrigerante con la presión de vapor adecuada asegura un funcionamiento óptimo.

##### Impacto Ambiental

La elección de refrigerantes debe considerar su Potencial de



Agotamiento de Ozono (ODP) y Potencial de Calentamiento Global (GWP). Los refrigerantes ecológicos son preferibles debido a su menor impacto ambiental.

### **Innovaciones en Refrigerantes**

Se están desarrollando refrigerantes alternativos, como los HFOs y CO<sub>2</sub>, que ofrecen soluciones más sostenibles.

### **Consejos Basados en la Experiencia**

Mantenga siempre registros de las propiedades de los refrigerantes utilizados en el sistema.

Familiarícese con los refrigerantes alternativos y sus características para adaptarse a las normativas cambiantes

### 5.1.11 Casos de estudio.

#### Caso de Estudio 1:

#### **Selección de Ciclo de Refrigeración por Compresión para una Planta de Procesamiento de Alimentos**



Contexto:

Una planta de procesamiento de alimentos necesita seleccionar un sistema de refrigeración para mantener una cámara frigorífica a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se evalúan diferentes configuraciones de ciclos de compresión, considerando tanto el uso de un ciclo simple como un ciclo de doble etapa.

Desarrollo Paso a Paso:

Identificación de las necesidades térmicas:

Temperatura requerida en la cámara:  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Carga térmica estimada: 150 kW.

Evaluación del ciclo simple de compresión:

Se diseña un ciclo simple para la temperatura de evaporación de  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  (para mantener  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  dentro de

la cámara) y la temperatura de condensación de  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Se calculan las presiones de operación y las entalpías en los puntos clave del ciclo.

Se determina el COP y la potencia requerida por el compresor.

Evaluación del ciclo de doble etapa:

Se propone un ciclo de doble etapa con un sistema intermedio de compresión, enfriando el refrigerante en dos etapas.

Se calcula la eficiencia del ciclo y se compara con el ciclo simple.

Selección del ciclo:

Si la eficiencia del ciclo de doble etapa es significativamente mayor, se selecciona este sistema a pesar del mayor costo inicial. Se considera también la reducción del trabajo en el compresor y la mejora en la vida útil del equipo.

Conclusión:

El ciclo de doble etapa es seleccionado por su mayor eficiencia energética, asegurando un menor costo operativo a largo plazo para la planta.

#### Caso de Estudio 2:

#### **Implementación de un Ciclo de Absorción en un Hotel para Reducción de Costos Energéticos.**



#### Contexto:

Un hotel de gran tamaño está buscando reducir sus costos energéticos utilizando un sistema de refrigeración por absorción en lugar de compresión. El sistema de absorción planeado operaría con una fuente de calor residual proveniente de calderas que ya existen en el hotel.

#### Desarrollo Paso a Paso:

Identificación de la demanda de refrigeración:

Demanda de refrigeración: 500 kW para las áreas comunes y habitaciones.

Fuente de calor residual: Se aprovecha el calor de las calderas existentes para alimentar el ciclo de

absorción (que usa una mezcla de agua y bromuro de litio como absorbente).

Evaluación del ciclo de absorción:

Se calcula el coeficiente de rendimiento (COP) del ciclo de absorción, que típicamente es más bajo que el de un ciclo de compresión (entre 0.7 y 1.2).

Se evalúa si el calor disponible de las calderas es suficiente para generar la capacidad frigorífica requerida.

Análisis de costo-beneficio:

Se realiza un análisis financiero comparando el costo de la electricidad utilizada por los sistemas de compresión con el costo del ciclo de absorción basado en el calor residual.

Se consideran los costos de instalación y mantenimiento del sistema de absorción, junto con el ahorro energético proyectado.

Conclusión y recomendaciones:

Se selecciona el sistema de absorción debido al ahorro energético a largo plazo y la utilización eficiente de recursos disponibles. La implementación del ciclo de absorción proporciona un retorno de inversión de 5 años, lo que lo convierte en una opción financieramente atractiva para el hotel.



# Cuestionario

---



## CUESTIONARIO 1

1. Pregunta de Opción Múltiple (Cálculo de la Potencia Frigorífica)  
¿Cuál de los siguientes factores es clave para el cálculo de la potencia frigorífica?

- a) El tipo de refrigerante.
- b) El flujo de masa del refrigerante.
- c) El tamaño del compresor.
- d) La cantidad de aceite en el sistema.

Respuesta correcta: b) El flujo de masa del refrigerante.

2. Pregunta de Opción Múltiple (Selección de Equipos de Refrigeración)  
¿Cuál es uno de los principales factores a considerar al seleccionar un equipo de refrigeración?

- a) La capacidad térmica de la unidad.
- b) La capacidad de aislamiento del equipo.
- c) La cantidad de gas refrigerante.
- d) El color del evaporador.

Respuesta correcta: a) La capacidad térmica de la unidad.

3. Pregunta de Completar (Propiedades de los Refrigerantes)  
Los refrigerantes con un bajo \_\_\_\_\_ son preferidos por su menor impacto en el calentamiento global.

Respuesta correcta: Potencial de Calentamiento Global (GWP)..

4. Pregunta de Completar (Selección de Equipos)

Para seleccionar un equipo de refrigeración adecuado, se debe calcular la \_\_\_\_\_ total del área a refrigerar.

Respuesta correcta: Carga térmica.

5. Pregunta de Opción Múltiple (Propiedades Físico-Químicas de los Refrigerantes)

¿Qué propiedad de los refrigerantes es crítica para evitar daños en el medio ambiente?

- a) Su presión de vapor.
- b) Su densidad.
- c) Su Potencial de Agotamiento de Ozono (ODP).
- d) Su conductividad térmica.



Respuesta correcta: c) Su Potencial de Agotamiento de Ozono (ODP).

6. Pregunta de Completar (Ciclo de Refrigeración)

En el ciclo de refrigeración por compresión, el refrigerante pasa por cuatro etapas principales: compresión, condensación, \_\_\_\_\_ y evaporación.

Respuesta correcta: Expansión.

7. Pregunta de Opción Múltiple (Ciclo de Refrigeración de Doble Etapa)

¿Cuál es la principal ventaja de un ciclo de refrigeración de doble etapa?

- a) Mayor eficiencia energética en condiciones de alta temperatura ambiente.
- b) Menor tamaño del equipo necesario.
- c) Mayor capacidad para enfriar grandes volúmenes de aire en menos tiempo.
- d) Reducción del consumo de refrigerante.

Respuesta correcta: a) Mayor eficiencia energética en condiciones de alta temperatura ambiente.

8. Pregunta de Opción Múltiple (Ciclo de Absorción)

¿Qué sustancia se utiliza típicamente como absorbente en un ciclo de refrigeración por absorción?

- a) Amoniaco.
- b) Agua.
- c) Glicol.
- d) Sulfuro de hidrógeno.

Respuesta correcta: b) Agua.

9. Pregunta de Completar (Selección de Equipos de Refrigeración)

Los equipos de refrigeración diseñados para aplicaciones comerciales suelen tener una capacidad de \_\_\_\_\_ mayor que los sistemas domésticos.

Respuesta correcta: Enfriamiento.



06

**AIRE ACONDICIONADO**

---

# CAPÍTULO SEIS

## AIRE ACONDICIONADO

Definiciones



### 6.1.1 Introducción

La carta psicrométrica es una herramienta fundamental en el diseño y análisis de sistemas de aire acondicionado. Permite a los ingenieros y técnicos visualizar las propiedades del aire, como temperatura, humedad relativa, entalpía y densidad, y cómo se comportan en diferentes condiciones de operación.

### 6.1.2 Componentes de la carta psicrométrica

Ejes de la carta:

#### 6.1.2.1 Temperatura seca (TS)

Representada en el eje vertical, mide la temperatura del aire en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

#### 6.1.2.2 Humedad absoluta (HA)

Representada en el eje horizontal, indica la masa de vapor de agua por unidad de masa de aire seco, normalmente expresada en gramos de vapor por kilogramo de aire seco (g/kg).

#### 6.1.2.3 Curvas de humedad relativa (HR)

Líneas que representan porcentajes de humedad relativa, mostrando la relación entre la cantidad de vapor de agua presente y la cantidad

máxima que el aire puede sostener a esa temperatura. Por ejemplo, una curva de 50% HR indica que el aire contiene la mitad del vapor de agua que podría albergar a esa temperatura.

#### 6.1.2.4 Entalpía (h)

Se mide en kilojoules por kilogramo (kJ/kg) y representa la energía total del aire, incluyendo tanto el contenido sensible (calor sensible) como el latente (calor de cambio de estado del agua). Las líneas de entalpía son útiles para calcular la energía requerida en los procesos de calefacción y refrigeración.

#### 6.1.2.5 Temperatura de punto de rocío (DPT)

La temperatura a la cual el aire se satura y comienza a condensar vapor de agua en líquido. Este parámetro es crucial para determinar cuándo se formará condensación en superficies frías.

#### 6.1.2.6 Volumen específico (ve)

Representa el volumen que ocupa una unidad de masa de aire ( $m^3/kg$ ) y es fundamental para el diseño de ductos y sistemas de ventilación.

Aplicaciones prácticas

#### Cálculo de cargas térmicas:

Permite determinar la cantidad de calor que debe eliminar o agregar un sistema de climatización para mantener condiciones confortables.

Selección de equipos:

Facilita la elección de unidades de aire acondicionado y ventilación adecuadas, considerando su

capacidad de enfriamiento y calefacción.

Ejemplo de uso

En un restaurante con aire acondicionado, si se mide que el aire interior está a 28 °C y 70% de humedad, el ingeniero puede utilizar la carta psicrométrica para identificar el estado del aire y calcular la capacidad del sistema necesario para mantener una temperatura de 22 °C y 50% de humedad.

#### 6.1.3 Proceso de enfriamiento sensible

El enfriamiento sensible implica reducir la temperatura del aire sin cambiar su contenido de humedad.

Este proceso es fundamental para mejorar el confort térmico en ambientes cerrados.

#### Funcionamiento Intercambio de calor:

El aire caliente es introducido en el sistema y entra en contacto con un serpentín enfriado por un refrigerante, que absorbe el calor del aire.

Este proceso ocurre de acuerdo a la segunda ley de la termodinámica, donde el calor fluye de áreas de mayor temperatura a áreas de menor temperatura.

Salida de aire frío:

El aire, al perder calor, se enfría y se redistribuye en el espacio mediante ductos. Es crucial que el sistema mantenga un flujo de aire adecuado para garantizar que todo el espacio reciba el aire frío.



Consideraciones importantes

Eficiencia:

La eficiencia del enfriamiento sensible está influenciada por la temperatura y humedad del aire entrante, así como por el diseño del sistema.

Confort en climas húmedos:

En climas con alta humedad, el enfriamiento sensible puede no ser suficiente, ya que los ocupantes también perciben la humedad en el ambiente.

Ejemplo práctico

En un edificio de oficinas, el sistema está diseñado para enfriar el aire de 30 °C a 22 °C. Se calculan las cargas térmicas considerando la cantidad de calor generado por los equipos y las personas, asegurando que el sistema funcione eficientemente.

#### **6.1.4 Proceso de calentamiento sensible**

El calentamiento sensible se refiere al aumento de la temperatura del aire sin alterar su contenido de humedad.

Este proceso es esencial para mantener el confort térmico en climas fríos.

Métodos de calentamiento:

Calefacción eléctrica:

Utiliza resistencias eléctricas que calientan el aire al pasar corriente. Es ideal para espacios pequeños y proporciona calor inmediato.

Calentadores de agua:

Se emplea agua caliente en radiadores o serpentines para calentar el aire, proporcionando un calentamiento uniforme.

Sistemas de calefacción central:

Utilizan aire caliente que se distribuye a través de ductos desde una unidad central, ideal para edificios comerciales.

Distribución del aire caliente:

El aire calentado se redistribuye por todo el espacio mediante ventiladores o ductos, asegurando una temperatura uniforme.

Aplicaciones

Climas fríos: Es vital contar con un sistema de calefacción que mantenga el confort en interiores.

Integración con sistemas HVAC: La calefacción se combina con sistemas de aire acondicionado para lograr un control climático completo.

Ejemplo práctico

En un hogar ubicado en una región fría, el sistema de calefacción central calienta el aire de 10 °C a 22 °C en invierno, utilizando un termostato para regular la temperatura.

#### **6.1.5 Proceso de enfriamiento - deshumidificación**

El enfriamiento - deshumidificación combina la reducción de la temperatura del aire con la eliminación de humedad. Este proceso es esencial en climas cálidos y húmedos.

Funcionamiento



Condensación:

Cuando el aire caliente y húmedo entra en contacto con un serpentín refrigerante frío, su temperatura disminuye. El aire, al enfriarse, no puede retener toda su humedad, lo que provoca la condensación del vapor de agua en el serpentín. Este líquido se recoge y se drena del sistema.

Aire seco y fresco:

El aire resultante, más fresco y seco, se redistribuye en el espacio, mejorando el confort térmico.

Importancia

Confort interior:

Fundamental para mantener condiciones agradables y minimizar la sensación de bochorno.

Control de humedad:

Ayuda a prevenir problemas de moho y hongos, mejorando la calidad del aire.

Ejemplo práctico

En un gimnasio en un clima tropical, el sistema de aire acondicionado está diseñado para mantener el aire a 22 °C y 50% de humedad. Utiliza el enfriamiento - deshumidificación para asegurar que los usuarios se sientan cómodos durante su entrenamiento.

### **6.1.6 Proceso de enfriamiento-humidificación**

El proceso de enfriamiento-humidificación se utiliza para enfriar el aire mientras se incrementa su humedad, crucial en regiones secas.

Funcionamiento

Evaporación:

El aire seco pasa a través de un medio húmedo, como un panel evaporativo. Durante este proceso, el aire absorbe humedad y se enfría, utilizando la energía necesaria para la evaporación del agua.

Aire fresco y húmedo:

El resultado es un aire más fresco y con un mayor contenido de vapor de agua, mejorando la calidad del aire y el confort térmico.

Aplicaciones

Climas secos:

Crucial en regiones áridas donde el aire suele ser extremadamente seco.

Sistemas de refrigeración evaporativa:

Utilizan el principio de evaporación, siendo más eficientes que los sistemas de compresión.

Ejemplo práctico

En una oficina en un desierto, un sistema de enfriamiento evaporativo mantiene una temperatura interior de 24 °C y una humedad del 30%, mejorando la calidad del aire.

### **6.1.7 Proceso de calentamiento**

El proceso de calentamiento se refiere al aumento de la temperatura del aire, esencial para garantizar el confort térmico en espacios cerrados.

Funcionamiento



Métodos de calentamiento:

Resistencias eléctricas:

Calentadores que utilizan electricidad para generar calor, ideales para espacios pequeños.

Calentadores de agua:

Utilizan agua caliente para transferir calor al aire, proporcionando un calentamiento uniforme.

Bombas de calor:

Extracción de calor del aire exterior para calentar el interior, eficientes y versátiles.

Distribución del aire caliente:

Una vez que el aire es calentado, se distribuye por el espacio mediante ventiladores, asegurando una temperatura homogénea.

Consideraciones

Control de temperatura:

Termostatos regulan la temperatura, evitando el consumo excesivo de energía.

Integración en sistemas HVAC:

La calefacción debe integrarse en el sistema de climatización para un control eficiente del clima interior.

Ejemplo práctico

En un edificio de oficinas ubicado en un área con inviernos severos, el sistema de calefacción central se activa para aumentar la temperatura del aire de 5 °C a 22 °C.

Se utilizan termostatos programables que ajustan la temperatura según la ocupación del edificio, optimizando así el consumo de energía.

## 6.1.8 CASOS DE ESTUDIO

### Caso de Estudio 1:

Uso de la Carta Psicrométrica para Determinar las Condiciones del Aire en un Edificio Comercial



Contexto:

Un Técnico en sistemas de aire acondicionado debe diseñar el sistema de climatización de un edificio comercial en una zona con condiciones climáticas variables. La temperatura exterior promedio es de 30 °C con una humedad relativa del 60%. Se requiere que las condiciones del aire en el interior del edificio sean de 24 °C con una humedad relativa del 50%. El ingeniero debe usar la carta psicrométrica para determinar las propiedades del aire y el proceso necesario para alcanzar las condiciones deseadas.

Desarrollo Paso a Paso:

Identificación de las condiciones exteriores:

Temperatura exterior: 30 °C.  
Humedad relativa exterior: 60%.

Ubicación del punto exterior en la carta psicrométrica:

Se encuentra el punto en la carta psicrométrica correspondiente a 30 °C y 60% de humedad relativa.

En ese punto se obtienen las propiedades psicrométricas como la entalpía, el volumen específico y la humedad absoluta del aire exterior. Identificación de las condiciones interiores requeridas:

Temperatura interior deseada: 24 °C.  
Humedad relativa interior: 50%.

Ubicación del punto interior en la carta psicrométrica:

Se encuentra el punto correspondiente a 24 °C y 50% de humedad relativa.

También se obtienen las propiedades del aire interior (entalpía, volumen específico, etc.).

Determinar el proceso de cambio del aire:

El proceso psicrométrico necesario para pasar de las condiciones exteriores a las interiores requiere enfriamiento y deshumidificación. Se traza una línea en la carta psicrométrica desde el punto exterior hasta el punto interior deseado. Cálculo de la capacidad de refrigeración:

Usando las entalpías obtenidas de la carta, se puede calcular la cantidad de energía térmica que debe extraerse del aire:

donde

$$Q = m \cdot (h_{\text{exterior}} - h_{\text{interior}})$$

$m$  es el flujo de aire y  $h$  son las entalpías

Selección del equipo adecuado:

Con base en los cálculos, se determina la capacidad de refrigeración requerida para el equipo de aire acondicionado.

### Caso de Estudio 2:

Optimización del Proceso de Enfriamiento Sensible en una Oficina



Contexto:

En una oficina, la temperatura del aire es de 28 °C y se desea reducirla a 22 °C, manteniendo constante la humedad relativa del 50%. El proceso que debe realizar el sistema de aire acondicionado es un enfriamiento sensible. El técnico debe determinar cuánta energía necesita extraer del aire y evaluar si el sistema actual es adecuado.

Desarrollo Paso a Paso:

Identificación de las condiciones actuales:

Temperatura del aire actual: 28 °C.  
Humedad relativa: 50%.  
Condiciones deseadas:

Temperatura del aire deseada: 22 °C.  
Humedad relativa constante: 50%.  
Cálculo del enfriamiento sensible necesario:

El proceso es un enfriamiento sensible, por lo que solo se reduce la temperatura del aire sin cambiar su contenido de humedad.

Se calcula la energía necesaria para este enfriamiento sensible usando la fórmula:

$$Q = m \cdot c_p \cdot (T_{actual} - T_{deseada})$$

Donde:

m = es el flujo de aire,  
 $c_p$  = es el calor específico del aire y  
T = son las temperaturas.

Revisión de la capacidad del sistema de aire acondicionado existente:

Con base en el cálculo de la energía requerida, se compara la capacidad del sistema de aire acondicionado instalado.

Si el sistema tiene la capacidad suficiente para manejar la carga térmica calculada, no es necesario cambiar el equipo.

Si no es suficiente, se evalúan posibles ajustes en el sistema.

Conclusión:

Se determina si el sistema existente es adecuado o si se necesita un equipo con mayor capacidad de enfriamiento sensible.

### Caso de Estudio 3:

Evaluación del Proceso de Enfriamiento-Deshumidificación en

una Planta de Procesamiento de Alimentos



Contexto:

En una planta de procesamiento de alimentos, es crucial controlar tanto la temperatura como la humedad para evitar la proliferación de bacterias y mantener los productos en óptimas condiciones. Las condiciones exteriores son de 32 °C y 70% de humedad relativa, mientras que se requieren condiciones de 20 °C y 40% de humedad relativa en el área de procesamiento. El técnico debe evaluar cómo el sistema de aire acondicionado debe manejar el proceso de enfriamiento-deshumidificación.

Desarrollo Paso a Paso:

Condiciones exteriores:

Temperatura exterior: 32 °C.  
 Humedad relativa exterior: 70%.  
 Condiciones interiores requeridas:

Temperatura interior: 20 °C.  
 Humedad relativa interior: 40%.  
 Proceso psicrométrico de enfriamiento-deshumidificación:

Se ubica el punto correspondiente a 32 °C y 70% de humedad en la carta psicrométrica.

Se ubica el punto correspondiente a 20 °C y 40% de humedad.

Se traza una línea desde el punto exterior al punto interior, lo que indica el proceso de enfriamiento y deshumidificación.

Cálculo de la energía requerida para el proceso:

El proceso de deshumidificación implica que parte del vapor de agua en el aire se condensa, liberando calor latente.

Se calcula la cantidad de calor sensible y latente que debe extraerse para alcanzar las condiciones interiores.

$$Q_{sensible} = m \cdot c_p \cdot (T_{exterior} - T_{interior})$$

$$Q_{latente} = m \cdot (h_{vapor})$$

donde  $h_{vapor}$  es el calor latente de condensación.

Selección del equipo adecuado:

Se elige un equipo de aire acondicionado que pueda manejar tanto la carga sensible como la carga latente.

Se evalúa la necesidad de utilizar equipos adicionales como deshumidificadores o ventilación adicional.



# Cuestionario

---

## CUESTIONARIO 2

1. ¿Qué parámetro NO se mide en una carta psicométrica?

- a) Temperatura seca
- b) Humedad relativa
- c) Presión atmosférica
- d) Punto de rocío

Respuesta correcta: c) Presión atmosférica

2. En el proceso de enfriamiento sensible, la principal variable que cambia es:

- a) La temperatura seca
- b) La humedad específica
- c) El volumen específico
- d) La entalpía

Respuesta correcta: a) La temperatura seca

3. El proceso de enfriamiento-deshumidificación ocurre principalmente cuando:

- a) El aire caliente es enfriado sin reducir su contenido de humedad
- b) Se aumenta la humedad sin cambiar la temperatura
- c) El aire es enfriado por debajo de su punto de rocío, reduciendo su humedad
- d) El aire es recalentado después de pasar por un enfriador

Respuesta correcta: c) El aire es enfriado por debajo de su punto de rocío, reduciendo su humedad

4. En un proceso de enfriamiento-humidificación, ¿cuál es el propósito de añadir humedad al aire?

- a) Reducir la humedad relativa
- b) Aumentar la temperatura del aire
- c) Mejorar la eficiencia del sistema de enfriamiento
- d) Controlar la calidad del aire en zonas específicas

Respuesta correcta: d) Controlar la calidad del aire en zonas específicas

5. ¿Qué tipo de proceso psicrométrico ocurre cuando se calienta el aire sin cambiar su contenido de humedad?

- a) Enfriamiento sensible
- b) Calentamiento sensible
- c) Enfriamiento-deshumidificación
- d) Enfriamiento-humidificación

Respuesta correcta: b) Calentamiento sensible



6. El proceso de calentamiento sensible implica:

- a) Aumentar la temperatura del aire sin modificar su humedad relativa
- b) Aumentar la temperatura y humedad relativa del aire
- c) Disminuir la temperatura sin cambiar la humedad
- d) Cambiar la presión del sistema sin afectar la temperatura

Respuesta correcta: a) Aumentar la temperatura del aire sin modificar su humedad relativa

7. ¿Cuál de los siguientes es un ejemplo de proceso de enfriamiento-deshumidificación?

- a) Aire acondicionado en verano
- b) Secado de ropa al sol
- c) Sistema de calefacción en invierno
- d) Deshumidificadores en ambientes húmedos

Respuesta correcta: a) Aire acondicionado en verano

8. ¿Cuál es el principal objetivo de un sistema de aire acondicionado en un proceso de enfriamiento sensible?

- a) Reducir el contenido de humedad del aire
- b) Aumentar la humedad relativa
- c) Disminuir la temperatura del aire sin afectar la humedad
- d) Aumentar la presión del aire

Respuesta correcta: c) Disminuir la temperatura del aire sin afectar la humedad

9. La carta psicométrica es una herramienta útil para:

- a) Calcular la carga térmica
- b) Seleccionar un tipo de refrigerante
- c) Estimar el consumo energético de un sistema de aire acondicionado
- d) Analizar las propiedades del aire en un proceso específico

Respuesta correcta: d) Analizar las propiedades del aire en un proceso específico

10. El proceso de enfriamiento-humidificación es comúnmente utilizado en:

- a) Climas fríos
- b) Climas cálidos y secos
- c) Climas húmedos
- d) Zonas montañosas

Respuesta correcta: b) Climas cálidos y secos



# 07

## **NORMAS Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO**

---

# CAPÍTULO SIETE

## NORMAS Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO

Definiciones



### 7.1.1 Introducción

En un mundo donde el confort térmico y la eficiencia energética son fundamentales, la selección adecuada de sistemas de aire acondicionado se vuelve esencial.

Las normas que regulan estos equipos garantizan que cumplan con estándares de seguridad y rendimiento.

Este texto ofrece una guía comprensiva sobre las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y los criterios necesarios para seleccionar equipos de aire acondicionado y refrigeración, garantizando no solo el bienestar de los usuarios, sino también un menor impacto ambiental.

### 7.1.2 Normas NOM para Equipos de Refrigeración

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son regulaciones que establecen especificaciones técnicas y de seguridad que deben cumplir los equipos de refrigeración y aire acondicionado.

Estas normas son cruciales para asegurar que los equipos operen de manera eficiente y segura.

Descripción de las normas NOM:

Estas normas son emitidas por la Secretaría de Economía de México y se enfocan en garantizar la calidad y seguridad de los



productos. En el contexto de refrigeración, las NOM abordan aspectos como la eficiencia energética, seguridad eléctrica, y el manejo de refrigerantes.

Principales normas aplicables: Entre las más relevantes se encuentran:

NOM-003-ENER-2011:

Establece los valores de eficiencia energética que deben cumplir los equipos de refrigeración.

NOM-020-ENER-2011:

Regula las especificaciones de los sistemas de aire acondicionado en relación con el uso de refrigerantes.

Impacto en la seguridad y eficiencia:

El cumplimiento de estas normas no solo protege al usuario de riesgos eléctricos y de salud, sino que también promueve la eficiencia energética, reduciendo costos operativos y el impacto ambiental.

### **7.1.3 Normas NOM de Equipos para Instalaciones Diversas**

Las normas NOM varían según el tipo de instalación y aplicación de los equipos.

Diferencias entre normativas, algunas NOM son específicas para instalaciones comerciales, residenciales e industriales, teniendo en cuenta factores como la capacidad de los equipos y el tipo de refrigerante utilizado.

Aplicaciones específicas:

Por ejemplo, en un entorno comercial, las normas pueden exigir sistemas que operen a temperaturas más bajas y con mayores capacidades de enfriamiento, mientras que, en residencias se puede optar por equipos más compactos y eficientes.

### **7.1.4 Tipos de Sistemas de Aire Acondicionado**

Los sistemas de aire acondicionado pueden clasificarse en varias categorías, cada una con características y aplicaciones específicas.

Clasificación de sistemas:

#### **7.1.4.1 Sistemas de ventana**

Diseñados para espacios pequeños, son fáciles de instalar y económicos.

#### **7.1.4.2 Sistemas Split:**

Compuestos por una unidad interna y externa, ofrecen mayor eficiencia y son ideales para viviendas y oficinas.

#### **7.1.4.3 Sistemas centrales:**

Utilizados en grandes edificaciones, permiten un enfriamiento uniforme en múltiples áreas.

##### **7.1.4.3.1 Comparativa de eficiencia:**

Los sistemas centrales suelen ser más eficientes en grandes espacios, mientras que los sistemas split ofrecen flexibilidad y eficiencia en zonas más pequeñas.



### 7.1.5 Selección de Equipo de Enfriamiento

La selección del equipo de enfriamiento es fundamental para garantizar el confort y la eficiencia.

#### 7.1.5.1 Criterios de selección

##### a) Carga térmica:

Determinar la cantidad de calor que debe ser removido del espacio, considerando factores como el tamaño de la habitación, la cantidad de ventanas y la ocupación.

##### b) Eficiencia energética:

Evaluar la relación entre la capacidad de enfriamiento y el consumo de energía (SEER y EER).

Ejemplos de cálculos de carga térmica:

- ✓ La carga térmica se calcula considerando
- ✓ El área del espacio en metros cuadrados.
- ✓ La orientación de las ventanas.
- ✓ La cantidad de personas y equipos electrónicos presentes.

#### 7.1.6 Selección de Accesorios

La selección de accesorios es vital para asegurar el rendimiento óptimo de los equipos.

Accesorios esenciales:

Termostatos: Permiten el control preciso de la temperatura.

Filtros: Mantienen la calidad del aire al atrapar polvo y contaminantes.

Conductos: Son cruciales para la distribución del aire enfriado.

Funciones de los accesorios: Cada accesorio desempeña un papel específico en la eficiencia y funcionamiento del sistema, contribuyendo a un ambiente confortable y saludable.

### 7.1.7 Mantenimiento de Equipos de Refrigeración y Aire Acondicionado

El mantenimiento preventivo es esencial para prolongar la vida útil de los equipos.

Estrategias de mantenimiento preventivo:

- ✓ Incluir chequeos regulares,
- ✓ limpieza de filtros, y
- ✓ revisión de niveles de refrigerante.

#### 7.1.7.1 Frecuencia y técnicas recomendadas:

Se recomienda realizar mantenimiento al menos dos veces al año, especialmente antes de las temporadas de mayor uso.

### 7.1.8 Impacto Ambiental y Eficiencia Energética

La selección de equipos de aire acondicionado también tiene implicaciones ambientales.

Efectos de la selección de refrigerantes: Algunos refrigerantes son más perjudiciales para la capa de ozono y contribuyen al calentamiento global. Optar por



refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global (GWP) es crucial.

Eficiencia energética de los equipos: Equipos que cumplen con las normas de eficiencia energética ayudan a reducir el consumo eléctrico y, por ende, las emisiones de carbono.

### **7.1.9 Errores Comunes en la Selección**

Al seleccionar un equipo de aire acondicionado, es fácil cometer errores que pueden resultar costosos.

Errores frecuentes: Entre los más comunes se encuentran:

- ✓ Subestimar la carga térmica, eligiendo un equipo insuficiente.
- ✓ No considerar la eficiencia energética, resultando en altos costos de operación.

Consejos para evitar errores:

Realizar un análisis detallado de las necesidades y consultar con expertos puede ayudar a tomar decisiones informadas



## 7.1.10 CASOS DE ESTUDIOS

### Caso de Estudio 1:

Cumplimiento de las Normas NOM para la Instalación de un Sistema de Refrigeración en una Planta de Procesamiento.

Contexto: Una empresa mexicana de procesamiento de alimentos va a instalar un nuevo sistema de refrigeración en su planta y necesita asegurarse de que cumple con las normativas NOM (Normas Oficiales Mexicanas) aplicables para equipos de refrigeración industrial. El técnico encargado debe garantizar que el equipo seleccionado y su instalación cumplan con las normas de seguridad, eficiencia energética y calidad del aire.

Desarrollo Paso a Paso:

Identificación de la Norma NOM aplicable:

El técnico revisa las NOM-012-ENER-2012, que regula la eficiencia energética de equipos de refrigeración industrial en México. También se revisa la NOM-001-SEDE-2012 para instalaciones eléctricas, que establece requisitos para la correcta instalación de los sistemas. Revisión de los requisitos del equipo:

El equipo debe cumplir con un nivel de eficiencia energética mínimo. Se verifica la etiqueta de eficiencia del equipo para asegurar que cumple con la NOM-012-ENER-2012.

Se deben tener en cuenta aspectos como la carga térmica, el coeficiente de rendimiento (COP) y el tipo de refrigerante utilizado,

asegurándose de que sea amigable con el medio ambiente y aprobado por las normas.

Inspección de la instalación eléctrica:

La instalación del sistema de refrigeración debe cumplir con las especificaciones de la NOM-001-SEDE-2012 en cuanto a los componentes eléctricos, como el cableado, la protección de circuitos, y la conexión a tierra.

Evaluación de la seguridad y salud:

Se revisa que el sistema cumpla con las normativas de seguridad en el manejo de gases refrigerantes, como las indicadas en la NOM-003-SEGOB-2011, que establece las condiciones de seguridad en el uso y almacenamiento de gases.

Verificación final:

Antes de operar el sistema, se realiza una inspección completa de los componentes y la instalación, asegurándose de que no existen fugas de refrigerante y que el sistema está calibrado de acuerdo con las especificaciones.

### Caso de Estudio 2:

Selección de un Sistema de Aire Acondicionado para un Edificio Comercial

Contexto: Un técnico en climatización debe seleccionar el sistema de aire acondicionado más adecuado para un edificio comercial de cuatro pisos en una ciudad con clima cálido. Las opciones consideradas son un sistema centralizado, unidades tipo split, o un sistema VRF (Volumen de Refrigerante Variable).



El sistema debe ser eficiente en términos de energía y proporcionar confort térmico a los ocupantes.

Desarrollo Paso a Paso:

Recolección de datos iniciales:

Se determina el área total del edificio y la cantidad de personas que lo ocuparán.

Se estudian las cargas térmicas generadas por el uso de equipos, iluminación y la entrada de calor por ventanas.

Evaluación de los sistemas disponibles:

Sistema centralizado:

Ventajas: Eficiencia para grandes espacios, control unificado.

Desventajas: Altos costos iniciales, difícil de ajustar por zonas.

Sistema tipo split:

Ventajas: Flexibilidad para enfriar áreas específicas, instalación menos costosa. Desventajas: Menor eficiencia para grandes superficies, múltiples unidades.

Sistema VRF (Volumen de Refrigerante Variable):

Ventajas: Alta eficiencia energética, posibilidad de control por zonas.

Desventajas: Costos iniciales elevados, requiere mayor mantenimiento especializado.

Cálculo de la carga térmica total del edificio:

Usando la metodología de cálculo de carga térmica basada en las condiciones climáticas y las especificaciones del edificio, se estima que el edificio necesita un sistema con una capacidad de 240,000 BTU/h.

Selección del sistema adecuado:

Basado en la flexibilidad y la necesidad de controlar la climatización por zonas debido a la variación de ocupación en diferentes áreas, se opta por un sistema VRF.

Se selecciona un equipo con una capacidad de 250,000 BTU/h para proporcionar un pequeño margen de seguridad.

Justificación económica:

Aunque el costo inicial es mayor, el ahorro en consumo energético y la mayor eficiencia del sistema VRF justifican la inversión.

El sistema ofrece la posibilidad de ajustar la climatización por pisos y oficinas, optimizando el confort de los usuarios y reduciendo el consumo.

### Caso de Estudio 3:

Selección de Accesorios para un Sistema de Aire Acondicionado en una Oficina

Contexto: Un técnico se ha encargado de supervisar la instalación de un sistema de aire acondicionado tipo split en una oficina de 100 m<sup>2</sup>. Además de instalar la unidad principal, se debe seleccionar e instalar los accesorios necesarios para garantizar un funcionamiento eficiente y la máxima comodidad de los ocupantes.

Desarrollo Paso a Paso:



Revisión de los requisitos de la instalación:

La unidad seleccionada tiene una capacidad de 36,000 BTU/h, adecuada para el tamaño de la oficina.

Se realiza un análisis de las necesidades en cuanto a distribución de aire, control de temperatura y eficiencia energética.

Selección de los accesorios principales:

**Termostato digital programable:**  
Permite el control preciso de la temperatura y la programación de diferentes ciclos de operación, mejorando la eficiencia energética y el confort de los usuarios.

**Conductos y difusores de aire:**  
Se seleccionan conductos aislados para evitar pérdidas de energía y difusores que distribuyan el aire de manera uniforme por toda la oficina, minimizando zonas frías o calientes.

**Bomba de condensados:**  
Debido a la ubicación de la unidad interior, se necesita una bomba de condensados para evacuar el agua generada por el sistema de aire acondicionado sin afectar las áreas de trabajo.

**Filtros de aire de alta eficiencia:**  
Para mantener la calidad del aire interior, se seleccionan filtros HEPA que eliminan partículas de polvo, alérgenos y bacterias, proporcionando un ambiente saludable.

Instalación de los accesorios:

Se asegura que todos los conductos estén correctamente sellados y aislados para evitar fugas de aire. El termostato se instala en un lugar de fácil acceso y lejos de corrientes de aire o fuentes de calor que puedan afectar las lecturas de temperatura. Puesta en marcha y verificación:

Se enciende el sistema y se verifica que el aire se distribuye uniformemente en toda la oficina. Se prueba el termostato y la bomba de condensados para asegurar que funcionan correctamente. Mantenimiento programado:

Se crea un plan de mantenimiento preventivo para los accesorios, especialmente para los filtros HEPA, que deben cambiarse regularmente para garantizar la calidad del aire.



# Cuestionario

---



## CUESTIONARIO 3

1. Un cliente te pide instalar un equipo de aire acondicionado en una oficina de 30 m<sup>2</sup>. Según la normativa NOM para equipos de refrigeración, ¿qué aspecto clave debes considerar al seleccionar el equipo?

- a) La estética del equipo
- b) La potencia frigorífica adecuada
- c) La longitud de las tuberías
- d) El número de ventanas

Respuesta correcta: b) La potencia frigorífica adecuada

2. Estás instalando un sistema de aire acondicionado tipo "split" en una pequeña tienda. Según la NOM, ¿qué documento debes verificar para asegurarte de que el equipo es apto para su instalación?

- a) El manual del usuario
- b) La etiqueta de eficiencia energética
- c) El color del equipo
- d) La garantía del fabricante

Respuesta correcta: b) La etiqueta de eficiencia energética

3. Un cliente te solicita asesoría para instalar un sistema central de aire acondicionado en un edificio comercial. Según la NOM para instalaciones diversas, ¿qué consideraciones debes tener en cuenta al seleccionar el equipo?

- a) El tipo de refrigerante utilizado
- b) El ruido generado por el sistema
- c) La estética del equipo
- d) El color del sistema

Respuesta correcta: a) El tipo de refrigerante utilizado

4. Durante una inspección de mantenimiento en un equipo de aire acondicionado, el cliente te menciona que la unidad no enfría adecuadamente. Según las normas NOM de mantenimiento de equipos de aire acondicionado, ¿qué debes verificar primero?

- a) La limpieza de los filtros
- b) La carga de refrigerante
- c) El estado de las conexiones eléctricas
- d) La antigüedad del equipo

Respuesta correcta: a) La limpieza de los filtros



5. Un cliente quiere instalar un equipo de aire acondicionado en una zona con mucha humedad. Según las normas NOM, ¿qué equipo sería más adecuado para garantizar un buen rendimiento?

- a) Un equipo con control de humedad
- b) Un equipo de alta eficiencia energética
- c) Un equipo con capacidad de enfriamiento rápido
- d) Un equipo con un diseño compacto

Respuesta correcta: a) Un equipo con control de humedad

6. Durante la selección de accesorios para una instalación de aire acondicionado, ¿cuál es un componente esencial para considerar según las NOM para garantizar una instalación segura?

- a) La longitud del cableado
- b) La calidad de los aislantes térmicos
- c) El color del panel frontal
- d) El tamaño de la unidad exterior

Respuesta correcta: b) La calidad de los aislantes térmicos

7. En una instalación de aire acondicionado para un pequeño restaurante, el cliente menciona que desea reducir el consumo energético. ¿Qué tipo de equipo recomendarías conforme a las normas NOM para lograr ese objetivo?

- a) Un equipo con capacidad de enfriamiento rápido
- b) Un equipo con inversor (inverter)
- c) Un equipo con múltiples velocidades de ventilación
- d) Un equipo con diseño silencioso

Respuesta correcta: b) Un equipo con inversor (inverter)

8. En una instalación residencial, te das cuenta de que el equipo de aire acondicionado está ubicado cerca de una fuente de calor. Según la NOM, ¿cuál sería la acción correcta?

- a) Instalar un ventilador adicional
- b) Cambiar la ubicación del equipo
- c) Aumentar la capacidad del equipo
- d) Cambiar el tipo de refrigerante

Respuesta correcta: b) Cambiar la ubicación del equipo

9. Un cliente te pide asesoría para instalar un sistema de aire acondicionado en una zona con variaciones extremas de temperatura. ¿Qué característica del equipo deberías priorizar según las normas NOM?

- a) La capacidad de enfriamiento rápido
- b) La eficiencia energética en condiciones extremas
- c) El diseño compacto



d) El color de la unidad interior

Respuesta correcta: b) La eficiencia energética en condiciones extremas  
10. En una revisión de mantenimiento, detectas una fuga en el sistema de refrigeración de un aire acondicionado. Según las normas NOM, ¿cuál es el primer paso que deberías tomar?

- a) Limpiar los filtros
- b) Reparar la fuga y recargar el refrigerante
- c) Cambiar los termostatos
- d) Revisar el sistema de control remoto

Respuesta correcta: b) Reparar la fuga y recargar el refrigerante



# B2

## BIBLIOGRAFÍA

---



# Bibliografía

Aguilar, J. L., & García, A. (2019). Manual de aire acondicionado y refrigeración industrial. Editorial Limusa.

Álvarez, C. (2020). Fundamentos de termodinámica en sistemas de refrigeración. Editorial Reverté.

Espinoza, F. J. (2018). Guía técnica de refrigeración y aire acondicionado. Editorial Alfaomega.

Fernández, R. (2016). Ciclo de refrigeración y sus aplicaciones. Marcombo.

Gutiérrez, P. (2017). Normas NOM en refrigeración y aire acondicionado: Interpretación y aplicación. Trillas.

Hernández, M., & Paredes, O. (2015). Psicrometría aplicada al aire acondicionado: Diagramas y tablas. Editorial Limusa.

Jiménez, L. (2021). Selección y mantenimiento de equipos de aire acondicionado. Pearson Educación.

López, V. (2018). Procesos de refrigeración por compresión y absorción: Fundamentos y casos prácticos. Editorial Paraninfo.

Martínez, A. (2022). Refrigerantes y sus propiedades físico - químicas: Guía práctica para técnicos. Editorial Síntesis.

Torres, E. (2019). Cálculo de la potencia frigorífica y selección de equipos. McGraw-Hill



# INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO PELILEO

ISBN: 978-9942-686-28-2



*Educación gratuita y de calidad*