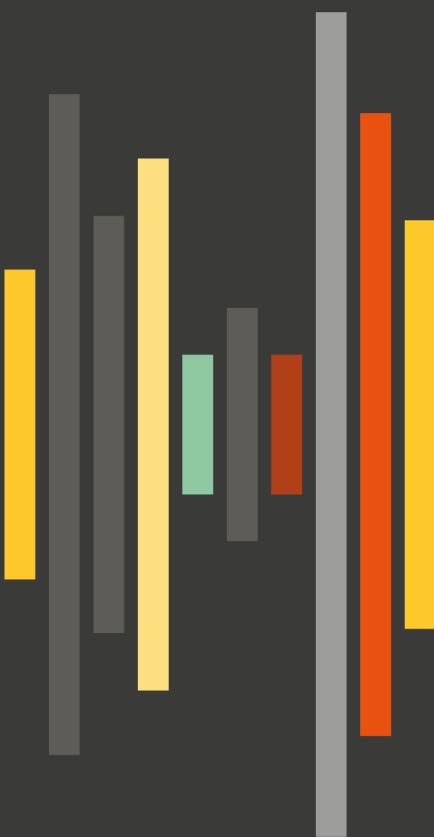


# Mantenimiento a equipos INDUSTRIALES

Unidad 3.

Mantenimiento preventivo de  
INSTALACIONES Y  
EQUIPOS.



Lo que pasa en el mundo de la ingeniería,  
lo enseñamos en

**Minería** ®

Educación continua y a distancia de la Facultad de Ingeniería

# Contenido

Introducción.....	3
Objetivo.....	5
3.1. Elementos fundamentales del mantenimiento preventivo.....	6
3.1.1. Ventajas y limitantes del mantenimiento preventivo.....	9
3.1.2. Árbol de decisiones de estrategias de mantenimiento.....	13
3.1.3. RCM como metodología para elaborar planes de mantenimiento preventivo.....	17
3.1.4. FMEA como metodología para determinar planes de mantenimiento preventivo para eliminar fallas actuales.....	24
3.1.5. Reforzamiento de la inspección de maquinaria mediante los operadores: Mantenimiento autónomo.....	28
3.2. Softwares para el control de mantenimiento preventivo.....	35
3.2.1. Diseño del programa de mantenimiento preventivo de la planta.....	39
3.2.2. Eficiencia energética aplicando el mantenimiento preventivo en plantas industriales.....	43
3.2.3. Sistema de gestión energética enfocada a equipos industriales.....	46
3.2.4. Optimización de la energía en la industria.....	51
3.2.5. Propuestas de medidas generales y recomendaciones energéticas para equipos industriales.....	55
Conclusiones.....	67
Fuentes de consulta.....	68

# Introducción

Al hablar de mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos es necesario partir de una planeación de mantenimiento que se desee aplicar considerando políticas, objetivos y el desarrollo.

En el proceso administrativo en general y en particular del mantenimiento, se tiene como primera función como ya se mencionó: la planeación, ésta debe ser consistente entre lo que se decida y lo que se quiera lograr, así como, cuál es la mejor manera de hacerlo.

Esto resulta en la premisa para involucrar los mantenimientos a la medida de las organizaciones. Las razones de desarrollo de tecnologías y montos de inversión en maquinarias, además de equipos, demandan la implementación del monitoreo de estado (mantenimiento correctivo, preventivo e inclusive predictivo) como razón de su implementación.

El área de mantenimiento es vista frecuentemente en las organizaciones como un departamento que gasta y no produce. Por tal motivo, es necesario definir una estrategia que permita demostrar los costos reales de su implementación y sus beneficios, que permitan soportar las decisiones de inversión en el mantenimiento como un área estratégica de la empresa.

Dentro de este contexto, las empresas ponen especial énfasis en las prácticas preventivas, de inicio, con la limpieza y de más actividades tradicionales de prevención; sin embargo, durante el proceso mismo se descuida la parte del monitoreo de condición, que en muchos casos resulta necesario para asegurar la confiabilidad de la maquinaria y equipos.

El balance entre estos escenarios (preventivo – predictivo) y la aplicación de técnicas de calidad, análisis a la información y acciones de mantenimiento (análisis de modo de falla, Pareto, etcétera), permitirá mejorar la confiabilidad y funcionalidad del equipo.

Por lo que, la estrategia óptima de mantenimiento será aquella que minimice el efecto conjunto de los componentes de costos, es decir, identificar el punto donde el costo de reparación es menor que el costo de la pérdida de producción. Mientras que en la evaluación del punto óptimo de mantenimiento, se constata que el costo total del mantenimiento está influido por el costo de mantenimiento regular (costo de reparación) y por el costo de la falla (pérdida de producción), de manera que su optimización se da en la aplicación de los mantenimientos.

El balance entre los tipos de mantenimiento debe ser logrado con buenos cimientos, a partir del análisis de necesidades, las buenas prácticas y la aplicación oportuna de los mismos, en procura de lograr la excelencia en mantenimiento.

Por tal motivo para este curso se tomará como base los requerimientos que marca la normativa ISO 9001 en los puntos de infraestructura.

# Objetivo

Al finalizar la unidad 3, el participante será capaz de:

Identificar y comprender la importancia de la organización del mantenimiento preventivo con la combinación de softwares para el logro del efecto global y la reducción de costo. Asimismo, determinará las necesidades, uso de metodologías, así como las consideraciones fundamentales para la implementación de estrategias en éste. Finalmente, conocerá la relación de la eficiencia energética con el mantenimiento.

3.1.

# Elementos fundamentales del mantenimiento preventivo

Para conocer los elementos fundamentales del mantenimiento preventivo, es necesario mencionar el **ítem “6.3 Infraestructura”**, que pertenece al capítulo **“6. Gestión de los recursos”** de la Norma **ISO 9001:2008**, mismo que define el **concepto** adoptado por esta normativa para gestionar la infraestructura de la organización. Dicho ítem se puede resumir en 3 etapas:



Identificar claramente cuáles son los recursos de infraestructura que la organización necesita para lograr la conformidad con los requisitos del producto o el servicio.

Una vez que han sido determinados los recursos necesarios, éstos deben ser proporcionados a quienes los necesiten dentro de la organización.

Los recursos de infraestructura que en las etapas anteriores han sido identificados y proporcionados, requieren que la organización efectúe determinadas actividades de mantenimiento para continuar brindando las mismas prestaciones y asegurar a ésta el logro de conformidad con los requisitos del producto o el servicio.

## Unidad 3. Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos.

Con las bases anteriores se puede desarrollar y enfocar el mantenimiento preventivo a instalaciones y equipos, por lo que recibe el nombre de **mantenimiento de infraestructura**.



- **Método para mantenimiento de infraestructura**

A fin de desarrollar un método en materia de mantenimiento de infraestructura, que resulte de utilidad para las instalaciones y equipos de la empresa, es importante conocer y tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- **HARDWARE:** El término “hardware” utilizado por la norma ISO 9001 no hace referencia únicamente a la informática, sino que comprende todos los recursos en soporte físico que requieran los procesos, tales como máquinas, equipos (informáticos o no), herramientas, medios de transporte, edificios, mobiliario, equipos de comunicación.
- **SOFTWARE:** El término “software” utilizado por la norma ISO 9001 comprende todos los recursos en soporte lógico que requieran los procesos, tales como programas informáticos, datos, información.
- **INVENTARIO DE LA INFRAESTRUCTURA:** Consiste en **identificar los elementos** que conforman la infraestructura de la instalación, lo que puede realizarse mediante un **inventario de ésta** que se debe mantener. Habitualmente, es recomendable asignar un código único a cada elemento y también crear familias, subfamilias o grupos de elementos. Un **inventario** suele contener información sobre el código del elemento, su descripción, la familia, subfamilia y/o grupo al que pertenece, la fecha de compra o alta, el precio de compra, su ubicación, y el mantenimiento que éste debe recibir.

Una vez identificados y aplicados los conceptos anteriores se deberá definir la gestión de estos recursos en la infraestructura, partiendo de las actividades que se pretendan realizar.

Esta etapa requiere que, para cada elemento de la infraestructura se definan las actividades necesarias para su mantenimiento. Esta definición consiste en establecer:

- Operaciones/tareas de mantenimiento a realizar.
- Forma de realizar las operaciones/tareas de mantenimiento.
- Herramientas, materiales, insumos necesarios para las operaciones/tareas de mantenimiento.
- Responsabilidades para la ejecución de tareas.



**Figura 1. Mantenimiento de infraestructura**

Finalmente, se deben planificar actividades de mantenimiento preventivo.

Para lo anterior, es fundamental saber que el objetivo de planificar el mantenimiento es lograr, con el mínimo costo, el mayor tiempo en servicio de las instalaciones y maquinaria productivas, además de conseguir la máxima disponibilidad y aportando mayor productividad así como al logro de la conformidad con los requisitos del producto o el servicio.

Ahora bien, los componentes o factores de la planificación del mantenimiento son:

**Costo**

**Tiempo de servicio**

**Seguridad de mantenimiento**

Dichos factores son **medibles** y conociendo su variación es posible **optimizar** el objetivo antes definido, permitiendo efectuar un análisis para llegar a determinar nuevas acciones.

### 3.1.1.

## Ventajas y limitantes del mantenimiento preventivo

Para identificar las ventajas y limitantes del mantenimiento preventivo es necesario conocer la definición de éste, ya que existen diferentes definiciones de acuerdo a la normativa que se pretenda emplear, por ejemplo:

- **NORMA AFNOR NF X 60 010 (Norma Francesa):**

Mantenimiento: todas las acciones para mantener o restaurar un bien en un estado o en condiciones especificadas para proporcionar un servicio específico. Se trata de un concepto más amplio que la simple noción de mantenimiento, es la acción o los gastos de sostener algo (una propiedad del material) en buen estado.

El mantenimiento permite la preservación de un estado definido previamente (en buenas condiciones) sino que también permite la reconstitución y la mejora de uno. El mantenimiento es una condición necesaria pero no suficiente.

Asimismo, cuenta con una gran variedad de métodos, cada que corresponde a un concepto particular:

#### a. **Mantenimiento correctivo o accidental:**

Este concepto abarca sólo acciones a tomar después de un fracaso. Se corre cuando a una actitud defensiva la espera de un fallo repentino. Se corre a tres tipos de intervención: Solución de problemas, reparación, reemplazo intercambio estándar.

#### b. **Mantenimiento preventivo:**

Estos se realizan en el propio mantenimiento y tiene la intención de reducir la probabilidad de deficiencia de la propiedad o la degradación de un servicio. Hay dos formas particulares:

o **Mantenimiento de rutina:** este es un mantenimiento preventivo llevado a cabo de acuerdo con un horario establecido por tiempos y el número de unidades a utilizar. Mantenimiento de primero y segundo nivel, más interna rallada en tareas y operadores, el control periódico de la máquina, la sustitución periódica de piezas de desgaste.

Es un servicio caro, en particular si se quiere establecer una frecuencia de las visitas que ejecuta antes de la operación.

o **Mantenimiento Condicional:** para los equipos significativos, se reemplazan cada vez el mantenimiento preventivo sistemático por parte del condicional: uno desencadena operaciones cuando ciertos parámetros entre medibles llegan a un límite de umbral.

- **NORMA BRITÁNICA BS 3811**

Esta norma menciona que es “La combinación de todas las acciones técnicas y administrativas asociadas tendientes a conservar un ítem o restablecerlo a un estado tal que pueda realizar la función requerida”. Indica además que la función requerida puede ser definida como una condición dada.

- **NORMA MILITAR ESTADOUNIDENSE MIL-STD-721C**

“Habilidad de un producto para ser retenido o restaurado a una condición especificada cuando el mantenimiento es desarrollado por personal que tiene un nivel de conocimiento especificado, utiliza procedimientos y recursos prescritos en cada nivel prescrito de mantenimiento y reparación”.

- **NORMA UNE-EN-13306 (Norma europea)**

Según la Norma UNE-EN-13306, mantenimiento preventivo es el que se realiza a intervalos predeterminados o de acuerdo con criterios establecidos y que está destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación del funcionamiento de un elemento. La continuidad operativa de los activos se consigue inspeccionando y reparando antes de que los desgastes puedan producir averías, realizando reparaciones de forma planificada. Es lo que conocemos como Mantenimiento Preventivo.

Bien entendido que, a pesar de aplicarse no se podrán evitar averías imprevistas, producidas por deficiencias no aparentes y, por tanto, no detectadas en inspecciones preventivas, o bien por otras causas; en estos casos no queda más opción que aplicar el menos deseado mantenimiento correctivo. Esta norma divide al mantenimiento en dos partes:

## Unidad 3. Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos.

- o **Mantenimiento predeterminado (o sistemático):** es el mantenimiento preventivo que se realiza de acuerdo con intervalos de tiempo establecidos o con un número definido de unidades de funcionamiento, pero sin investigación previa de la condición.
- o **Mantenimiento basado en la condición:** (o predictivo o sistemático): es el mantenimiento preventivo que incluye una combinación de monitorización de la condición y/o la inspección y/o los ensayos, análisis y las consiguientes acciones de mantenimiento. En función de la organización y recursos disponibles se implementarán ambos, en distinta medida, con el objetivo de evitar en lo posible la avería imprevista.
- **Norma COVENIN 3049-93 (Norma venezolana)**

Según la Norma COVENIN 3049-93 “El mantenimiento preventivo es el que utiliza todos los medios disponibles, incluso los estadísticos para determinar la frecuencia de las inspecciones, revisiones, sustitución de piezas claves, portabilidad de aparición de averías, vida útil y otras. Su objetivo es adelantarse a la aparición o predecir la presencia de las fallas.

### VENTAJAS:

- o Permite prolongar la vida útil de los sistemas y equipos.
- o Permite la planificación eficiente y efectiva de los recursos a utilizar.
- o Puede asumir la forma de sustitución sistemática de algunos componentes o de todos ellos (mantenimiento mayor).
- o Reduce el tiempo de trabajo y mejora el promedio entre fallas de los equipos.

### DESVENTAJAS:

- o Poca flexibilidad de modificar los ciclos de dichos trabajos en función de cambios en las exigencias operacionales de los equipos.
- o Requiere mayor cantidad de materiales y repuestos.

### • NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-STPS-1999, SISTEMAS DE PROTECCION Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD EN LA MAQUINARIA Y EQUIPO QUE SE UTILICE EN LOS CENTROS DE TRABAJO

Mantenimiento preventivo: es la acción de inspeccionar, probar y reacondicionar la maquinaria y equipo a intervalos regulares con el fin de prevenir fallas de funcionamiento.

En consecuencia para analizar las ventajas y limitantes del mantenimiento preventivo se partirá de la definición de la Norma Oficial Mexicana NOM-004-STPS-1999.

El mantenimiento preventivo además incluye las siguientes actividades:

1. Inspección periódica de activos y del equipo de la planta, para conocer las condiciones que conducen a paros imprevistos de producción, o depreciación perjudicial.
2. Conservar la planta para anular dichos aspectos, adaptarlos o repararlos, cuando se encuentren aun en una etapa incipiente.

#### **VENTAJAS:**

1. Disminuye el tiempo ocioso, como consecuencia hay menos paros imprevistos.
2. Disminuyen los pagos por tiempo extra de los trabajadores de mantenimiento en ajustes ordinarios y en reparaciones en paros imprevistos.
3. Disminuyen los costos de reparaciones de los defectos sencillos realizados antes de los paros imprevistos.
4. Menor número de productos rechazados, menos desperdicios, mejor calidad y por lo tanto el prestigio de la empresa crecerá.
5. Menor necesidad de equipo en operación, reduciendo con ello la inversión de capital y la vida útil de los existentes.
6. Mayor seguridad para los trabajadores y mejor protección para la planta.
7. Se cumplirán con los tiempos y plazos de producción comprometida.
8. Conocimiento anticipado del presupuesto de costos de mantenimiento.
9. Se tendrán los indicadores de productividad por sector.

#### **DESVENTAJAS:**

1. Se requiere tanto de experiencia del personal de mantenimiento como de las recomendaciones del fabricante para hacer el programa de mantenimiento a los equipos.

2. No permite determinar con exactitud el desgaste o depreciación de las piezas de los equipos.
3. Tiempos de paros debido a los mantenimientos que se realizan.

### 3.1.2.

## Árbol de decisiones de estrategias de mantenimiento

Para definir las estrategias de mantenimiento que se deben aplicar en un inmueble o equipo, se hace uso de la técnica del **árbol de decisión de estrategias**.

#### • ¿Qué es el árbol de decisiones?

Es una estructura ramificada, la cual permite estimar cuáles son las opciones más viables para la solución de un problema, a través de sus consecuencias, costos y demás factores; ayuda a construir una imagen balanceada de riesgos, recompensas asociadas y cada posible curso de acción.

Un árbol de decisión cuenta con las siguientes características:

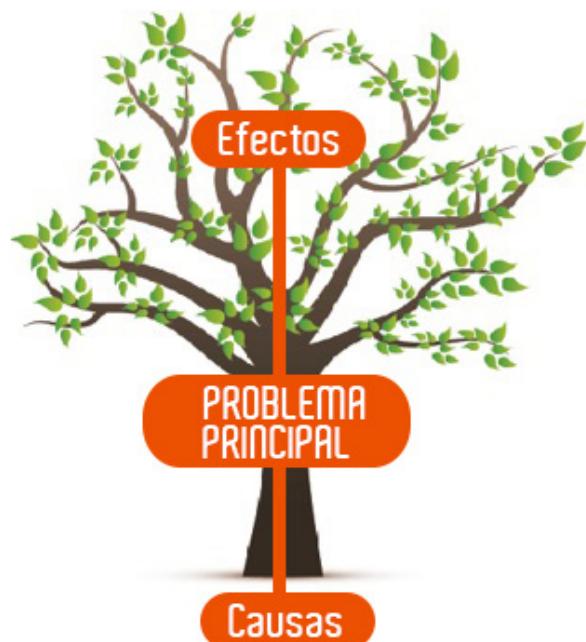


Figura 2. Árbol de decisiones

Plantea el problema desde distintas perspectivas de acción.

Permite analizar de manera completa todas las posibles soluciones.

Provee de un esquema para cuantificar el costo del resultado y su probabilidad de uso.

Ayuda a realizar las mejores decisiones con base a la información existente y a las mejores suposiciones.

Asimismo su estructura permite analizar las alternativas, los eventos, las probabilidades y los resultados.

• **¿Cómo aplicar un árbol de decisión en la empresa para el mantenimiento?**

Los árboles de decisiones sirven para resolver cualquier problemática **donde se necesite comparación de alternativas** y para ello es necesario tomar en cuenta los siguientes puntos.

1. Identificar el problema.
2. Limitar los criterios de decisión (personajes, operatividad, costos, entre otros).
3. Identificar la importancia de los criterios. En esta etapa es necesario analizar cuáles son los criterios con mayor importancia.
4. Desarrollar alternativas. A la vez que se realiza una lluvia de ideas e identifica cualquier alternativa que se basa en el número 2.
5. Analizar cada alternativa. Verificando fortalezas y debilidades de acuerdo a la importancia de criterios, tratando de que el análisis sea objetivo.
6. Estructurar: en este punto se analiza el costo beneficio de proveedores.
7. Seleccionar una alternativa. Se analiza cuál es la opción más conveniente de acuerdo al árbol de decisiones, siempre se toma en cuenta el punto 3.
8. Implementar a la alternativa. Se realiza un análisis el cual es muy distinto a implementar soluciones.
9. Evaluar la efectividad de la decisión. Conocer que fue lo que se hizo bien y qué se hizo mal, se analiza cada paso en la evaluación de alternativas, esto ayudará a mejorar tomas de decisiones a futuro.

## Unidad 3. Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos.

De forma gráfica lo anterior se resume en:

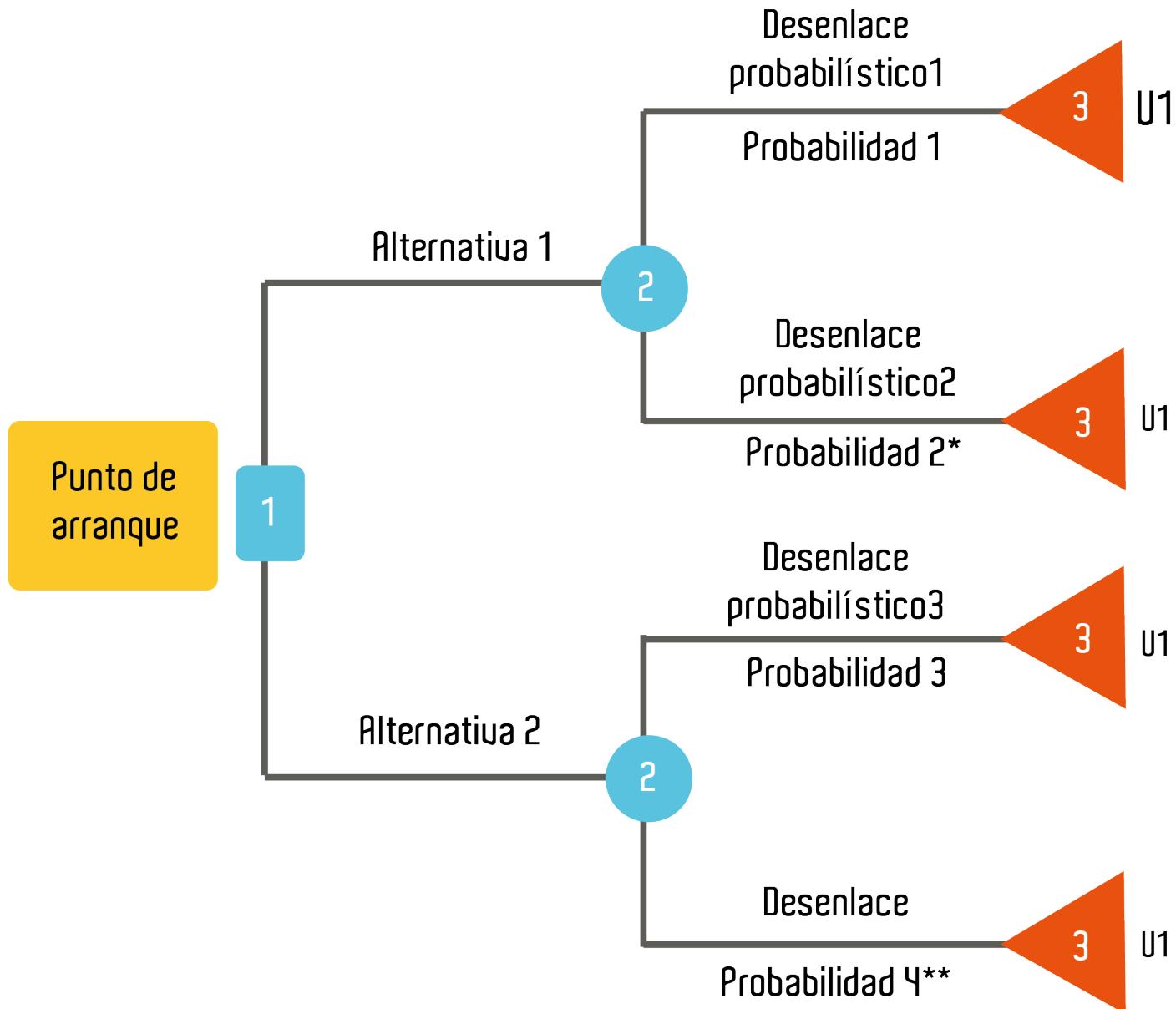


Figura 3. Puntos a considerar en un árbol de decisiones

A continuación, se muestra un ejemplo de cómo construir un árbol de decisión y cómo se aplica al mantenimiento, tomando como base las consideraciones anteriores.

### EJEMPLO:

Una empresa en su área de mantenimiento de servicios a la planta, detecta que de un 100% de servicios solicitados sólo se cumple el 80% de estos.

Al analizar lo anterior, se considera que existen tres factores que afectan estos servicios:

- a) Planificación inadecuada con un 20%
- b) Factores externos con un 50%
- c) Ejecución inadecuada con un 30 %

En la planificación inadecuada se detecta lo siguiente:

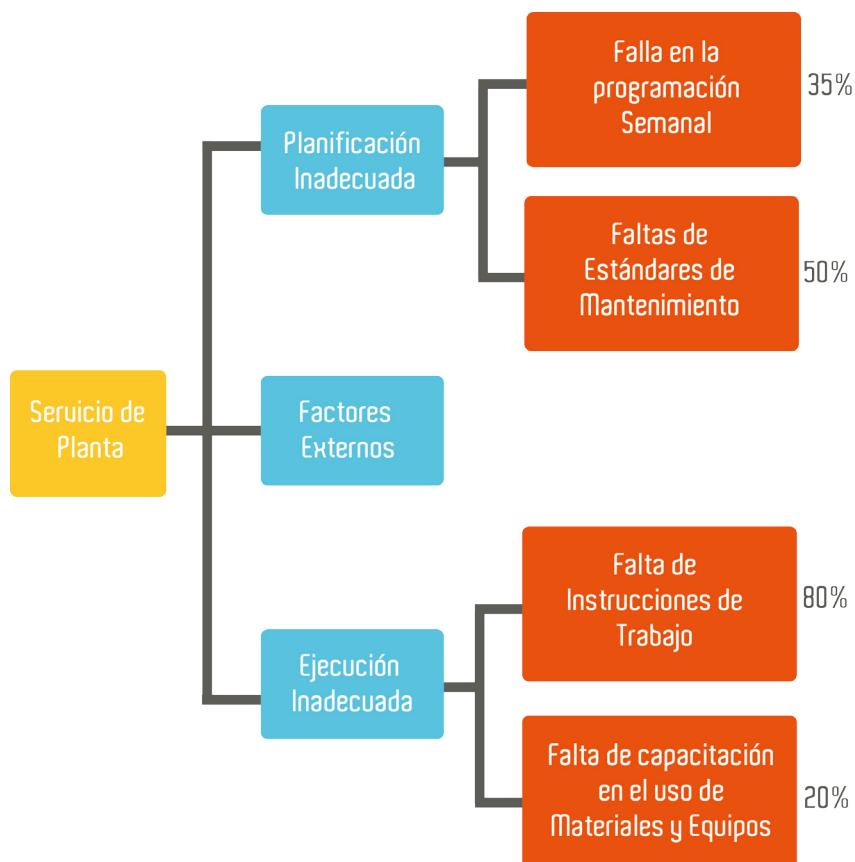
- Existen fallas en la programación semanal en un 35%
- No existen estándares de mantenimiento 50%

En la ejecución inadecuada se detecta lo siguiente:

- Falta de instrucciones de trabajo 80%
- Falta de capacitación en el uso de materiales y equipos 20%

Con los datos anteriores se construye un árbol de toma de decisiones para determinar qué estrategia se deben seguir y solucionar el problema:

- a) El árbol quedaría de la siguiente manera:



## Unidad 3. Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos.

De acuerdo con el árbol de toma de decisiones se detecta lo siguiente:

1. El problema principal de no cumplimiento en planta es por falta de instrucciones de trabajo con una ejecución inadecuada.

Siguiendo en orden descendente:

- Planificación inadecuada con falta de estándares de mantenimiento.
- Planificación inadecuada con la falla en la programación semanal.
- Ejecución inadecuada con falta de capacitación en el uso de materiales y equipo.
- Factores externos.

Por tal motivo la estrategia que debe seguir el área de mantenimiento para eficientizar sus servicios en planta es realizar con su área de calidad, instrucciones de trabajo para la ejecución adecuada de sus servicios de planta, principalmente y posteriormente ir trabajando con las causas siguientes.

Estos árboles de toma de decisión son muy importantes en el área de mantenimiento cuando se determina como solucionar un problema y deben ser realizados de tal manera que abarquen y solucionen el problema detectado.

**3.1.3.**

### RCM como metodología para elaborar planes de mantenimiento preventivo.

En español se define el RCM como el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) o por sus siglas en inglés Reliability centred Maintenance (RCM). Fue desarrollado hace más de 30 años para la industria de la aviación civil. Básicamente es el análisis del proceso que permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para ser aplicadas a cualquier activo físico o equipo. En otras palabras es una metodología que busca erradicar o al menos limitar las averías que se producen en las instalaciones.

El RCM no sólo es empleado en la industria de la aviación civil, también se ha usado en empresas petroquímicas, mineras, centrales eléctricas, metalmecánicas, etcétera.

En general donde se requiera determinar tareas de mantenimiento de sus equipos.

Este tipo de mantenimiento **tiene como base la Norma SAE JA0111**, la cual **especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso y poder ser denominado Proceso RCM** (descargable disponible en el portal [www.sae.org](http://www.sae.org)).

- **Objetivo**

De acuerdo a esta norma el objetivo principal del RCM en una planta industrial es aumentar la confiabilidad de la instalación, disminuyendo el tiempo de paro por averías imprevistas que impidan cumplir con los planes de producción, aumentando así, la disponibilidad, es decir, aumentar la disponibilidad del tiempo para producir y disminuir los tiempos con los costos de mantenimiento.

Por otra parte, el RCM valida la criticalidad (habilidad de un sistema o proceso a manifestar un comportamiento complejo cuando existe una falla) del equipo.

Asimismo la **norma SAE JA 1011** específica que deben **plantearse 7 preguntas básicas para el proceso RCM**, estas son:

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo se está analizando?

2. ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados a estas funciones?

3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?

4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?

5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?

6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?

7. ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?

## Unidad 3. Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos.

La solución a estas preguntas para cada uno de los sistemas que componen una instalación industrial conduce a la determinación de los fallos potenciales, las causas de éstos, así como, medidas preventivas que tendrán que adoptarse. Asimismo, al ser planteadas permiten definir y estructurar un proceso RCM que combinado con el árbol de toma de decisiones permitiría contar con una metodología para planes de mantenimiento preventivo.

Por otra parte, la Norma SAE JA 10111 involucra 10 fases que deben ser tomadas en cuenta para estructurar un proceso RCM, además de analizarse para el plan de mantenimiento preventivo.

Este proceso de análisis de fallos e implantación de medidas preventivas puede emplearse para un plan de mantenimiento preventivo en una planta industrial, a través de las siguientes fases:

### FASE 1

Definición clara de lo que se pretende implantando el RCM. Determinación de indicadores y valoración de éstos antes de iniciar el proceso.

- **Ejemplo de indicadores**

INDICADORES DE GESTIÓN BENCHMARKING KPI	
CATEGORÍA	BENCHMARK
<b>Costo del mantenimiento</b>	
Costo total del mantenimiento / Costos producción total	< 10 -15%
Costo de contratos / Costo total del mantenimiento	35 - 64 %
Costo salida de Bodega / costo total del mantenimiento	< 30%
<b>Mantenimiento planeado</b>	
Horas Mantenimiento total / Horas total mantenimiento	>85%
Horas Mantenimiento planeado / Horas totales del mantenimiento	85 - 95 %
Horas Mantenimiento CBM / Horas totales del mantenimiento	> 30%
Horas Mantenimiento correctivas / horas totales mantenimiento	<15%
<b>Sobretiempo del mantenimiento</b>	
Sobretiempo del Mantenimiento / Total tiempo del mantenimiento disponible	<5%
<b>Rotación de inventarios</b>	
Radio de rotación de repuestos = Salida de repuestos/total de repuesto para mantenimiento	> 2 - 3
Costo total de repuestos sacados de bodega / costo total bodega items mantenimiento	> 5%
<b>Entrenamiento</b>	
Horas Hombre en entrenamiento / Horas hombre totales del mantenimiento	> 80 hrs/año
Costos entrenamiento / costo total del mantenimiento	4%
<b>Estrategia mensual del mantenimiento</b>	
PM (mto preventivo):	Total OT PM / Total horas disponible para mantenimiento > 70%
CBM: (Manto por condición)	Total OT CBM / Total horas disponible para mantenimiento > 10%
CM (Manto Correctivos)	Total OT CM / Total horas disponible para mantenimiento < 20%

Figura 4. Indicadores de gestión Benchmarking KPI

**FASE 2:**

Codificación y listado de todos los sistemas, subsistemas y equipos que componen la planta. Para ello, es necesario recopilar esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etcétera.

**FASE 3:**

Estudio detallado del funcionamiento del sistema. Determinación de las especificaciones del sistema Listado de funciones primarias y secundarias del sistema en su conjunto. Listado de funciones principales y secundarias de cada subsistema.

**FASE 4:**

Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos.

Ejemplo de un tablero de frecuencia de fallas con sus impactos:

		GERENCIA DE MANTENIMIENTO Y SERVICIOS CONFIABILIDAD OPERACIONAL ENCUESTA DE EVALUACIÓN DE CRITICIDAD							
AREA:	SALA DE MÁQUINAS	PROPÓSITO DE ESTE TRABAJO:							
PERSONA ENTREVISTADA:		Identificar los equipos en función de su impacto global, es decir, equipos de criticidad alta, equipos de criticidad media y equipos de criticidad baja.							
FECHA:									
Sistema / Equipo	Frecuencia de falla	TPPR	Impacto sobre la producción	Costos de reparación	Impacto ambiental	Impacto en salud y seguridad	Impacto satisfacción del cliente	Criticidad	
Compresor Ingersoll Rand	2,00	4,20	0,24	6,00	1,00	7,00	2,00	34,02	
Compresor Joy N°1	2,00	4,00	0,24	6,00	1,00	7,00	4,00	41,02	
Compresor Joy N°2	2,00	4,00	0,24	8,00	1,00	7,00	4,00	41,02	
Secador de aire con alúmina	1,20	2,80	0,20	4,80	0,00	4,00	2,00	13,34	
Secador de aire con NH <sub>3</sub>	2,00	2,60	0,10	4,60	8,00	6,00	1,00	43,72	
Tanque pulmón N°1	1,00	2,60	0,30	3,40	1,00	6,00	5,00	16,18	
Tanque pulmón N°2	1,00	2,60	0,30	3,40	1,00	6,00	5,00	16,18	
Tanque pulmón N°3	1,00	2,60	0,30	3,40	1,00	6,00	5,00	16,18	
Postenfriadores de aire comprimido	1,60	2,80	0,10	3,40	0,00	5,00	1,00	15,49	
Redes de succión de aire y redes de aire comprimido	2,00	2,20	0,81	3,40	0,00	5,00	10,00	40,36	
Redes de amoniaco	1,80	2,60	0,25	3,40	8,00	7,00	3,00	39,69	
Redes de agua de refrigeración	2,00	2,20	0,75	3,80	3,00	4,00	4,00	32,72	

Figura 5. Tablero de frecuencia de fallas

**Unidad 3. Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos.**

FASE 5:

Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior.

## **FASE 6:**

Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo. Clasificación de los fallos en críticos, significativos, tolerables o insignificantes en función de esas consecuencias.

## **FASE 7:**

Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos.  
Ejemplo de medidas preventivas para enviar efectos de fallos.

## **Figura 6. Hoja de decisión RCM II**

FASE 8:

Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías: elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación, procedimientos de operación y de mantenimiento, lista de repuesto que debe permanecer en stock y medidas provisionales a adoptar en caso de fallo.

## Ejemplo de un plan de mantenimiento RCM

## Resultados

### DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PROponiendo EL TIPO Y LA FRECUENCIA DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

**Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para RRU (cont....)**

	Elaborado por: Ing. Zaidary Tomé		SISTEMA DE CORRIENTE				
	Equipo	Función	Actividades de Mantenimiento	Dur	RRHH	Unidad Resp.	Equipo
<b>RRU</b>	Es una unidad de la banda base basada en la plataforma definida software de (SDR) de la radio de ZTE. Esta unidad tiene capacidad grande y puede apoyar toda clase de tecnologías inalámbricas del acceso simultáneamente, incluyendo el G/M, UMTS, CDMA, WiMax y LTE.	Verificar el cambio de pieza correspondiente al registro	1 Hr	Esp de Operaciones	MTTO.	NETNUMEN	Mensual
		Verificar si la caja de alarmas está trabajando adecuadamente	15 Min	Esp de Operaciones	MTTO.	NETNUMEN	Mensual
		Consultar la alarma actual en el iOMCR	10 Min	Esp de Operaciones	MTTO.	NETNUMEN	Mensual
		Activar la función de escaneo de virus	5 Min	Esp de Operaciones	MTTO.	NETNUMEN	Mensual
		Verificar si la hora del servidor coincide con la hora local, si no es modifíquela	2hr	Esp de Operaciones	MTTO.	NETNUMEN	Mensual
		Verificar sistemas operativos Windows	1hr	Esp de Operaciones	MTTO.	NETNUMEN	Diario

**Figura 7. Plan de mantenimiento RCM**

## FASE 9:

Puesta en marcha de las medidas preventivas.

## FASE 10:

Evaluación de las medidas adoptadas, mediante la valoración de los indicadores seleccionados en la fase 1.

Cada empresa de acuerdo a sus necesidades, expectativas y equipo instalado, deberá desarrollar su propio plan RCM, nunca deben tomar ejemplos de otras empresas ya que no llegarían a las expectativas esperadas.

Ejemplo de una parte del proceso RMC aplicado al mantenimiento y a las fases anteriormente descritas.



Figura 8. Proceso RCM aplicado al mantenimiento

3.1.4.

## FMEA como metodología para determinar planes de mantenimiento preventivo para eliminar fallas actuales.

La **FMEA**, por sus siglas en inglés (inglés Failure Mode Analysis and Effects), **consiste en el análisis de modo de falla y efecto**. Es una metodología de un equipo sistemáticamente dirigido, el cual **identifica los modos de falla potenciales de un sistema**, producto u operación de manufactura/ensamble, **causadas por deficiencias en los procesos** de diseño o manufactura/ensamble.

Asimismo identifica características de diseño o de proceso críticas o significativas que requieren controles especiales para prevenir o detectar los modos de falla. La FMEA es una herramienta **utilizada para prevenir problemas antes de que ocurran**. De manera general esto es:

- a. Reconocer y evaluar la falla potencial de un producto o proceso y sus efectos.
- b. Identificar acciones que puedan eliminar o reducir la oportunidad de ocurrencia de la falla.
- c. Documentar el diseño del producto y proceso.

Dado lo anterior, el FMEA es un análisis inductivo, que se hace entre la relación de los sistemas y los componentes en contexto operacional, identificando las posibles consecuencias a través de la pregunta: **qué pasa si...** las recomendaciones realizadas son hechas por eliminación, prevención y mitigación de los efectos de las fallas.

### FALLA

Se entiende por falla el cese de la aptitud de un elemento para realizar una función requerida. Por lo tanto, tras el fallo el elemento se encuentra en estado de avería. Falla es el paso, la transición, de un estado a otro. Siempre que una falla tiene lugar, existe el mecanismo que lo hace posible, el cómo se ha producido ese cese de la aptitud del elemento.

## Unidad 3. Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos.

Si se aplica lo antes descrito al mantenimiento de una planta, se diría que son actividades realizadas a los equipos críticos de la planta para detectar fallas potenciales así como sus consecuencias.

A continuación se definirá un modo de falla como un evento que causa una falla funcional o pérdida de función.

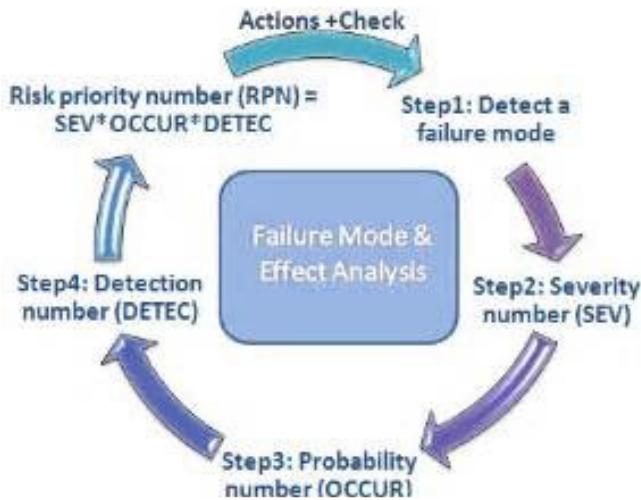


Figura 9. Falla funcional o pérdida de función

- **Aplicaciones del FMEA:**

- Proceso: análisis de los procesos de manufactura y ensamble.
- Diseño: análisis de los productos antes de sean lanzados para su producción.
- Concepto: análisis de sistemas o subsistemas en las primeras etapas del diseño conceptual.
- Equipo: análisis del diseño de maquinaria y equipo antes de su compra.
- Servicio: análisis de los procesos de servicio antes de que tengan impacto en el cliente.

Como se mencionó anteriormente, el **RCM** valida la criticalidad del equipo y si se aplicará el FMEA con el RCM se diría que el RCM se basa en el uso de esta técnica.

Como el FMEA está ligado al proceso RCM es necesario mencionar cómo se determinan estos modos de falla para su aplicación. Por su parte, el análisis se inicia con la identificación de las fallas, con el propósito de estudiar cada componente del sistema contra su función y así determinar si la falla de dicho componente podría resultar en la falla del sistema, afectando el desempeño de la función.

El desarrollo del FMEA es simple, se basa en un proceso de cuestionar y documentar las siguientes preguntas:

¿Qué pasa si falla?

¿Cómo puede fallar el componente?

¿Qué causa que falle?

¿Qué tan frecuente falla?

¿Qué pasa cuando falla?

Sin embargo, como el FMEA depende del proceso RCM, el equipo líder emplea a menudo la siguiente pregunta:

¿Qué podríamos hacer nosotros para prevenir, mitigar o eliminar la falla?

No todos los **modos de falla** de los componentes resultan en un efecto significante. **El resultado final del FMEA es focalizar el modo de falla que determine el mayor factor de criticidad o factor de riesgo**, usando la combinación del efecto de la falla con la probabilidad de la misma.

Por ejemplo una válvula puede fallar a la apertura, una bomba falla por rotura o por vibración, entre otras.

## MODO DE FALLA

Son los eventos (operador, componente o sistema distribuido) que causan la pérdida de la función y los que posiblemente originan y son responsables de la falla.

- Ejemplos de desarrollos de FMEA**

Sistema o Activo	Juego de Bombas	Cliente:					Ingeniero Lider:									
Activo o Componente	Motor y Bomba	OVM:					Membros del Equipo:									
Nivel:	Modos de Falla Dominantes	Fecha/Rev FMEA:														
Descripción	Función	Modo (s) de Falla	Efecto (s) de la Falla				SEV	OCC	DET	Initial RPN	Recommended Corrective Actions	SEV	OCC	DET	Revised RPN	RPN Ratio
Motor	Convertir energía eléctrica a XXX HP de Energía Rotacional	Falla bobinado Estator	Corto a tierra, disparo de motor, fuera de servicio por 3 días	8	2	9	144	Esaneo en-linea del monitoreo de condición de la vibración, corriente fase motor				8	2	8	128	1.13
Motor	Convertir energía eléctrica a XXX HP de Energía Rotacional	Falla cojinete	Falla cojinete, disparo de motor en sobre amps, fuera de servicio por 24 horas	3	3	8	72	Monitoreo de condición en-linea de la vibración				3	2	2	12	6.00
Bomba	Bombea fluido a XXX GPM	Falla Sello	Fuga de fluidos, Riesgo de EHS, fuera de servicio 1.5 días	5	8	7	280	Escaneo en linea del monitoreo de condición de la vibración y parámetros del proceso - en tiempo real/de indicaciones de operación				5	4	2	40	7.00
Bomba	Bombea fluido a XXX GPM	Falla Cojinete	Falla cojinete, posible disparo de motor, dano en impulsor y bomba, fuera de servicio 1 día	4	4	8	128	Escaneo en linea del monitoreo de condición de la vibración y parámetros del proceso - en tiempo real/de indicaciones de operación				4	3	2	24	5.33

Componente	Modo potencial de la Falla	Efectos Potenciales de la Falla	Severidad	Causas potenciales mecanismos de falla	Ocurrencia	Controles de diseño actuales <b>Prevención</b>	Controles de diseño actuales <b>Detección</b>	Detección	Prioridad Riesgo RPN	Acciones Recomendadas	Responsable y fecha objetivo de Terminación
I. Ejes principales de transmisión.	Exceso de vibración durante el ciclo de cambio.	<b>Local:</b> Reventón al cambio. <b>Máximo Próximo:</b> Genera desperdicio por arranque de maquina. <b>Con Cliente:</b> Entregas fuera de Tiempo	7	1. Desalineación entre alojamientos de rodamientos. 2. Flechas con desgaste mecánico 3. Ejes flexionados	2	• Análisis de vibraciones mediante equipo de medición	• Guias de mtto. Preventivo.	10	140	1.1 Tomar lecturas de vibración en alojamientos y comparar valores con lecturas anteriores. 2.1 Desarmar y comparar ajustes de flechas en asientos de rodamientos y poleas. 3.1 Verificar excentricidad de flechas en contrapuntos.	Personal mtto. Predictivo 15 Abril 04

Figura 10. Ejemplo de desarrollo FMEA

El **mecanismo de falla** o **causa de la falla** es una descripción de la secuencia de los eventos que apuntan hacia el modo de falla ocurrido. Con el mecanismo de falla se describe suficientemente el modo de falla y finalmente es la causa raíz del problema.

### 3.1.5.

## Reforzamiento de la inspección de maquinaria mediante los operadores: Mantenimiento autónomo

Dentro del TPM (Mantenimiento Productivo Total), el **Mantenimiento Autónomo** es una de las etapas de la preparación de las condiciones de implantación, siendo ésta la acción más difícil y que más tiempo lleva en realizar, por lo difícil que es dejar la forma habitual de trabajo.

### MANTENIMIENTO TOTAL PRODUCTIVO

Es una metodología que ayuda a las empresas a enfocar las actividades de mantenimiento al logro de los objetivos de disponibilidad de los equipos, calidad de las piezas producidas y eficiencia de las líneas de producción.

El mantenimiento autónomo por los operadores es una característica única del TPM y es vital para su compañía.

Los operadores trabajan a tiempo completo en la producción y el personal de mantenimiento asume por completo las responsabilidades de las reparaciones. Además de las oportunidades y ventajas que para ellos representa su forma actual de trabajo.

## Unidad 3. Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos.

Cambiar tales actitudes son las razones por las que se requiere de mucho tiempo para progresar eficientemente en la implementación completa del TPM ya que cambiar el ambiente en una compañía lleva mucho tiempo.

La falta de las tareas de inspección del equipo productivo, reaprietas, limpieza, remoción de rebaba, polvo, contaminantes y lubricación promueven las causas de corrosión, tiempos perdidos y defectos de calidad.

Sin embargo, la capacitación y el adiestramiento no terminan con el mantenimiento básico del equipo por él operador.

Por su parte, el mantenimiento autónomo es un pilar del TPM y busca que los operadores sean responsables de los mantenimientos más sencillos que requieren los equipos.

A continuación se presentan los siete pasos propuestos por el Dr. Nakajima referente al mantenimiento autónomo:

### TPM

#### 7. Implementar Mantenimiento Autónomo

**Usted decide lo que harán sus operadores  
(y hasta qué grado)**



Limpieza  
del equipo



Inspección



Lubricación



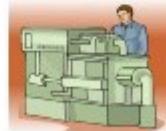
Ajuste



Arranque



MP (Tipo I)



Mantenimiento  
de rutina



Reparaciones  
menores

**Lean-Sigma**

## **1. LIMPIEZA INICIAL**

Desarrollo del interés de los operadores y operarios por mantener limpias sus máquinas.

La limpieza es un proceso educativo que provoca resistencia al cambio, esto debido a que no se está acostumbrado a trabajar de manera ordenada y limpia, además de que se cree que el trabajo de limpieza no corresponde a la persona indicada, sin embargo, si existen personas que realicen este trabajo, por lo que este hecho nos hace preguntar: ¿Por qué limpiar si la basura se acumula rápidamente? Una manera de comprender esta necesidad es la respuesta: “No existe vibración cuando este perno esta apropiadamente asegurado”.

Limpiar para eliminar polvo y suciedad principalmente en el bastidor del equipo; lubricar y apretar pernos; descubrir problemas y corregirlos.

## **2. ELIMINAR FUENTES DE CONTAMINACIÓN Y LUGARES INACCESIBLES**

Lo más difícil para el individuo es hacer la limpieza inicial. La firmeza debe ser individual para desear mantener el equipo limpio y así reducir el tiempo de limpieza.

El operador de la maquinaria, cuando ha aceptado hacer la limpieza, debe proponer medidas para combatir las causas de la generación de desorden, suciedad, desajustes, etcétera.

Prevenir la causa del polvo, suciedad, y difusión de esquirlas; mejorar partes que son difíciles de limpiar y lubricar; reducir el tiempo requerido para limpiar y lubricar.

## **3. ESTÁNDARES DE LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN**

En los pasos 1 y 2, los operarios y operadores identifican las condiciones básicas que tienen sus equipos. Cuando esto ha sido terminado, los grupos de trabajo del TPM pueden poner los estándares para un rápido y eficaz trabajo de mantenimiento básico, para prevenir el deterioro: Limpieza, lubricación y reapriete para cada pieza del equipo. Más adelante en el paso 5 se revalúan los estándares de mantenimiento autónomo, se inician los mantenimientos preventivos básicos, verificándolos con los procedimientos de inspección autónoma.

El Dr. Nakajima afirma: “... no es conveniente implementar el Mantenimiento Autónomo, sin haber obtenido los logros tempranos que proporcionan las Cinco S. De aquí que ambas metodologías están íntimamente relacionadas”.

Los **tres primeros pasos del mantenimiento autónomo se enfocan a la reunión de requisitos**, por lo tanto, los esfuerzos en esta etapa temprana no siempre presentará resultados impactantes. Menos aún si previamente no se implementaron las Cinco S. Establecer estándares que reduzcan el tiempo gastado limpiando, lubricando y apretando (específicamente tareas diarias y periódicas).

- 1 Limpieza inicial.
- 2 Eliminar fuentes de contaminación y lugares
- 3 Establecer estándares de limpieza

Conseguir que los operadores se interesen y responsabilicen por su equipo.

## 4. INSPECCIÓN GENERAL

Los pasos 1, 2 y 3 son las acciones de mantenimiento autónomo para la prevención, detección y control de las condiciones fundamentales de los equipos, manteniendo limpiezas, lubricación y reaprietas.

En este cuarto paso se ensaya la detección de los modos de falla con una inspección general del equipo.

También es vital haber iniciado ya las capacitaciones relacionadas a incrementar las habilidades de todo el personal, para que puedan realizar la inspección general.

El entrenamiento general de inspección, debe cumplirse por categoría a la vez, principiando con el desarrollo de destrezas. En este punto se debe intensificar la capacitación técnica para los trabajadores.

Este cuarto paso lleva mucho tiempo complementarlo, porque todos los operarios y operadores tienen que desarrollar su habilidad y destreza para detectar anomalías. Con la inspección manual se genera instrucción; los miembros de círculos descubren y corrigen defectos menores del equipo.

## 5. INSPECCIÓN AUTÓNOMA

En el paso 5, los estándares de limpieza y lubricación establecidos en las etapas 1,2 y 3 y el estándar de referencia de la inspección de arranque, son comparados y evaluados para eliminar cualquier inconsistencia y asegurar las actividades del mantenimiento autónomo. El tiempo y la buena técnica proporcionarán el arribo a la meta.

En este paso se realiza el manual de inspección autónoma. Aquí se complementan las inspecciones de grupos de trabajo de operadores y personal técnico, estas inspecciones se harán con equipo en paro, equipo en marcha y condiciones de operación.

Cuando los operadores de producción y operarios de mantenimiento son completamente entrenados para conducir la inspección general, (paso cuatro) el departamento de mantenimiento podrá hacer los programas de mejoramiento del diseño del equipo, mantenimiento preventivo rutinario por calendario y/o uso y grupos de trabajo, además mantenimiento preventivo, mantenimiento anual y preparar los estándares de mantenimiento. Incluir inspecciones, listas de verificación y ajustes, además de procedimientos que contengan un ciclo completo de inspección, puesto que son varias las instancias que participan. Es muy importante culminar con la elaboración del manual de acción correctiva.

Desarrollar y emplear listas de chequeo para inspección autónoma.

- 4 Inspección general del equipo.
- 5 Autoinspección

Reducir averías y formación de operadores que comprendan y dominen su equipo.

## 6. ORGANIZACIÓN Y ORDEN

Seiri o la organización es el medio para identificar los aspectos a ser manejados en el centro de trabajo, haciendo procedimientos y estándares. Esto es un trabajo para el nivel de dirección y mandos intermedios (No despreciar y simplificar los objetivos a condiciones manejables).

Recuerda que cuando se implementa en el área de trabajo (Seiri) el método de las 5 S's, cambia por Clasificación y/o Selección.

### Unidad 3. Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos.

Seiton u ordenamiento es el medio para adherirse a los estándares establecidos y es principalmente responsabilidad de los operadores y operarios.

Parte de las actividades de los grupos de trabajo, son sobre la base del orden y limpieza, que tienen que ser siempre enfocados al mejoramiento continuo que hace más fácil seguir los estándares.

Seiri y seiton. Organización y ordenamiento, son así las actividades de mejoramiento para fomentar, simplificar y organizar el mantenimiento autónomo y la adhesión a los estándares y procedimientos, siendo los caminos del aseguramiento para la estandarización.

Los pasos 1 al 5 acentúan las actividades de inspección y mantenimiento de las condiciones básicas de los equipos. (Limpieza, lubricación, y reapriete, usar controles visuales en todo el centro de trabajo). El papel del operario y operador es mucho más amplio, sin embargo, esto solo es el principio.

En el paso 6, líderes, mandos medios y directores toman el papel principal en complementar la implantación del mantenimiento autónomo por evaluación del papel de los operarios y clarificar sus responsabilidades. Es recomendable dividir este paso en sub-pasos, que describan más a detalle las acciones a tomar ya que la implantación del TPM toma de tres a cinco años y los operadores deben llegar en este término a soportar el mantenimiento correctivo básico, el preventivo básico, detectar modos de fallas, producir solo con calidad, etcétera.

Estandarizar categorías de control de lugares de trabajo individuales; sistematizar a fondo el control del mantenimiento.

- Estándares de inspección para limpieza y lubricación
- Estándares de limpieza y lubricación
- Estándares para registrar datos
- Estándares para mantenimiento piezas y herramientas

## 7. TÉRMINO DE LA IMPLANTACIÓN DEL MANTENIMIENTO AUTONOMO. (AUTOGESTIÓN)

Habiendo terminado las actividades de los grupos de trabajo, conducidas por los supervisores (terminado el paso 6) los trabajadores serán más profesionales y con una moral alta.

Por último, ellos se hacen independientes, especialistas y trabajadores con confianza, quienes pueden buscar o generar su propio trabajo y el mejoramiento del equipo, proceso y herramientas con autonomía.

Desarrollos adicionales de políticas y metas; incrementar regularidad de actividades mejora.

- 6 Mantenimiento autónomo sistemático
- 7 Práctica plena del autocontrol

Organización robusta y cultura de que cada lugar de trabajo sea capaz de autocontrolarse.

- **Auditoria del mantenimiento autónomo.**

Auditar las actividades de los grupos de trabajo para evaluación, es parte importante del papel que juega el personal de ingeniería en el desarrollo del sistema de mantenimiento autónomo.

Para conducir eficazmente la auditoria del mantenimiento autónomo, los supervisores y el personal de ingeniería deben conocer y comprender el ambiente actual, para que puedan proveer a los grupos de trabajo de la técnica, las instrucciones de trabajo y análisis de los sistemas y equipo e incluso la relación con un producto, y proporcionar el sentido de pertenencia al trabajador para que complementen y realicen cada paso.

Por lo que, un trabajador de un departamento no debe auditar su propia máquina o equipo.

3.2.

## Softwares para el control de mantenimiento preventivo

Para definir el tipo de software para el control de mantenimiento preventivo, éste deberá ser capaz de permitir al ingeniero o planificador de mantenimiento efectuar un seguimiento del trabajo de forma organizada.

Para ello será necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1. Mantener el costo del servicio de mantenimiento lo más bajo posible.
2. Encontrar la mejor forma de efectuar los trabajos de mantenimiento.
3. Encontrar la forma de que los equipos críticos estén siempre disponibles.
4. Encontrar la forma de reducir al mínimo los costos de mantenimiento en aquellos equipos que no sean críticos.
5. Proveer de las facilidades necesarias para que los operadores no calificados realicen el mantenimiento mínimo requerido en los equipos.
6. Proveer del entrenamiento y supervisión necesaria.

Por otra parte, dentro del mantenimiento preventivo existen estructuras generales de trabajos que tienen pros y contras, estas estructuras se deben conocer por el ingeniero de mantenimiento para tener claro cómo definir el software que ha de usar. Dichas estructuras son:

Mantenimiento no programado -- no planificado	Consecuencias: altos costos de mantenimiento. Bajas eficiencias. Mentalidad de mantenimiento de averías.
Mantenimiento programado -- no planificado	Consecuencia: alto costo de mantenimiento el cual está basado en la reacción.
Mantenimiento no programado – planificado	Consecuencia: mentalidad de oportunidad de mantenimiento. Poca efectividad en el uso del tiempo.
Mantenimiento programado – planificado	Consecuencia: costo de mantenimiento bajo. Efectivo uso del tiempo. Los trabajos y los resultados son predecibles.

Tabla 1. Estructuras generales

Si se analiza la última estructura, esta es la que interesa para la selección de un software, es decir, tener un software de mantenimiento en donde encuentre que este programado y planificado.

Con lo anterior se puede observar qué debe de contener este software mediante el siguiente flujo de información, al cual se le llama **gestión de información mediante software en mantenimiento:**

## Unidad 3. Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos.

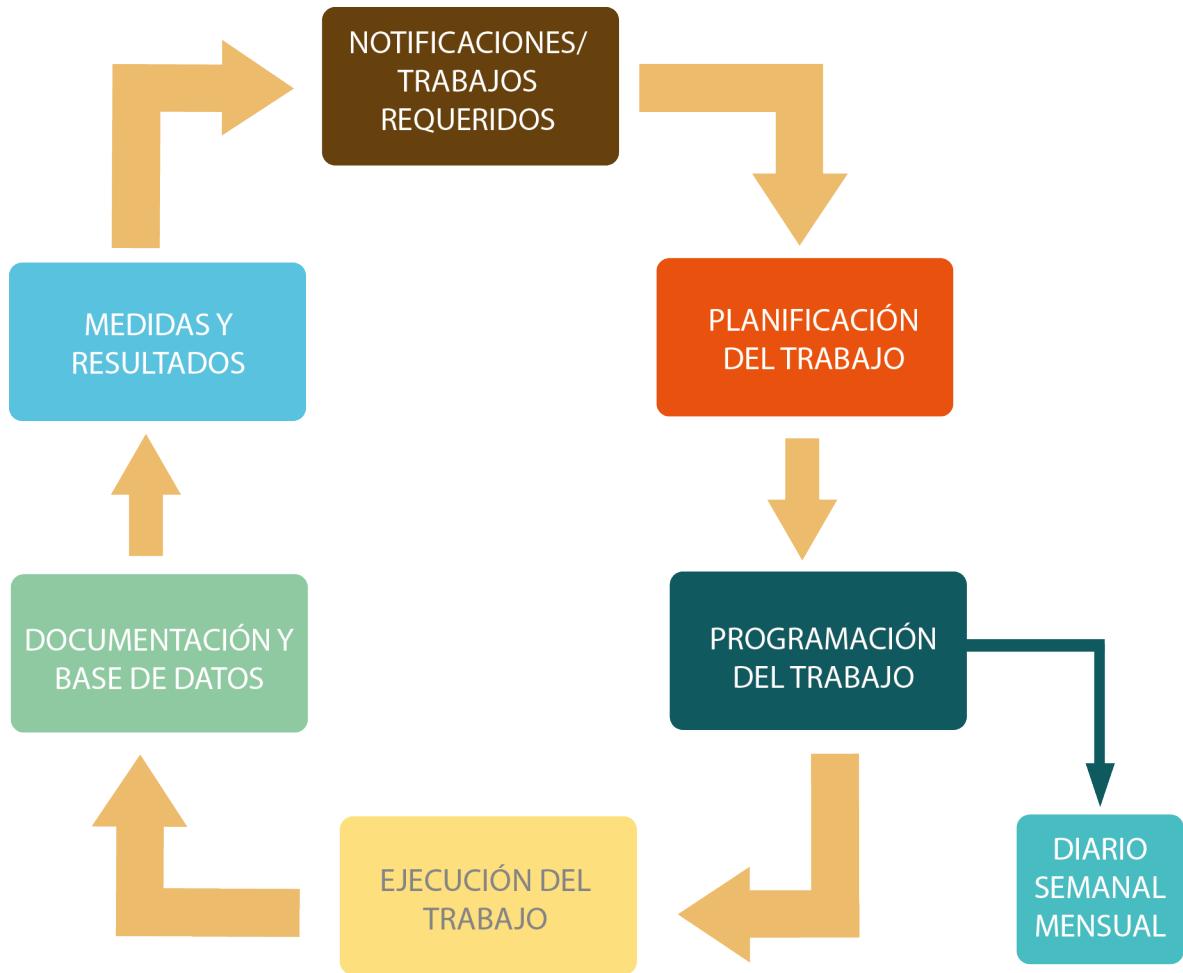


Figura 11. Gestión de información mediante software en mantenimiento

En el mercado existen diferentes softwares para poder llevar un mantenimiento programado planificado, el usuario deberá elegir el que más se aadecue a su objetivo, pero siempre tomando en cuenta los objetivos del mantenimiento programado planificado. Un ejemplo sería el software MP aplicado al mantenimiento, el cual de manera general maneja y dice lo siguiente:

***“El MP es un software profesional para control y administración del mantenimiento que le ayudará a documentar y mantener organizada toda la información que requiere su departamento de mantenimiento”.***



#### ■ CATALOGO DE EQUIPOS Y LOCALIZACIONES

Documente en el MP toda la información referente a sus equipos e instalaciones, como por ejemplo planos, diagramas, especificaciones, localización, datos del proveedor, etc.

#### ■ RUTINAS DE MANTENIMIENTO

Documente los planes o rutinas de mantenimiento de cada uno de sus equipos y genere con el MP los calendarios de mantenimiento en forma automática.

#### ■ PROGRAMACION DE TRABAJOS DE MANTENIMIENTO

Día con día, el MP informa sobre los trabajos de mantenimiento que se deben realizar y una vez que se realizan, el MP reprograma la fecha próxima para cuando deban volver a realizarse, ajustando automáticamente los calendarios de mantenimiento.

#### ■ ORDENES DE TRABAJO

Automatice y simplifique con el MP el procesos de generación, control y seguimiento de las órdenes de trabajo.

#### ■ CALCULO AUTOMATICO DEL ABASTECIMIENTO

Diminuya niveles de inventario mediante la adquisición de repuestos justo a tiempo.

#### ■ CONSUMOS

Documente el consumo de los repuestos, mano de obra y servicios externos utilizados durante la ejecución de los trabajos de mantenimiento.

#### ■ GRAFICA DE COSTOS, PAROS, INDICES DE MANTENIMIENTO, ETC.

Genere gran cantidad de reportes, índices y gráficas relacionados con la gestión de mantenimiento, como por ejemplo, gráfica de costos, paros, fallas, calendarios de mantenimiento, etc.



#### ■ CALENDARIOS DE MANTENIMIENTO

Consulte los calendarios de mantenimiento con las fechas programadas para realizar los diferentes trabajos de mantenimiento. Debido a los constantes cambios que por lo regular sufren los calendarios de mantenimiento, sólo con un sistema computarizado como el MP es posible mantenerlos actualizados y al día.

#### ■ SOLICITUDES DE MANTENIMIENTO VIA INTERNET

Reporte solicitudes de mantenimiento vía intranet o Internet y oglice el proceso de atención a reportes de falla.



Industrias



Hoteles



Flotillas

Nota: El análisis de selección de software corresponde al usuario, mediante las bondades que el software brinde de su selección.

### 3.2.1.

## Diseño del programa de mantenimiento preventivo de la planta

El programar el Mantenimiento preventivo refiere a determinar cuándo un trabajo deberá ser ejecutado en relación al tiempo. De ésta forma se proveerá de un plan secuencial que permitirá ejecutar un número determinado de trabajos durante el mismo periodo de tiempo, así como de proveer de la información necesaria para empezar un nuevo trabajo cuando otro es completado.

Por lo tanto es necesario comprender las fuentes de información con las que debe contar el ingeniero de mantenimiento o planificador.

El planificador recibe las necesidades de mantenimiento de diversas fuentes. El conjunto de esas tareas pendientes, con diferentes status de progreso, formarán lo que se denominará Histórico de tareas pendientes o Backlog. Todas las órdenes que entran en el histórico, permanecerán en él hasta que el planificador decida qué trabajos están terminados. El histórico dará perspectiva al planificador de para saber si se están cumpliendo los objetivos del plan de mantenimiento.

A continuación se muestra un diagrama de cuáles pueden ser estas fuentes de información:



Figura 12. Fuentes de información

TBM: Mantenimiento basado en tiempo

CBM: Mantenimiento basado en condiciones

Para manejar el histórico de tareas pendientes o Backlog, es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros, que en definitiva son los que definen la programación de los trabajos, estos son:

- Prioridad.
- Fecha en que debe realizarse.
- Ubicación Funcional.
- Disponibilidad de Materiales.
- Disponibilidad de recursos.
- Tiempo previsto para realizar el Trabajo.
- Disponibilidad del Equipo.

A continuación se describen algunos de estos parámetros:

- **Prioridad**

Todos los trabajos deben ser ejecutados en algún tipo de orden, por tanto para poder decidir esto, se establecen parámetros de prioridad. Estos parámetros están basados en objetivos de negocio.

El siguiente cuadro se define una posible matriz de prioridades:

	Seguridad	Calidad	Producción
EMERGENCIA	Peligro personal o Medio Ambiente	Producto fuera del límite de especificaciones	Parada de producción
URGENTE	Potencial Daño a Equipos	Producto con alta variabilidad pero no fuera de límites	Impacta en la planificación de producción
RUTINA	Reparaciones normales	El producto puede verse alterado	No impacta en producción

**Tabla 2. Matriz de prioridades**

## Unidad 3. Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos.

La reacción que tendría el personal de ejecutar estas órdenes serían:

- **Emergencia:** La programación se interrumpe, el trabajo empieza inmediatamente.
- **Urgente:** El trabajo debe ser planificado y programado entre las 24 y 72 próximas horas.
- **Rutina:** El trabajo es planificado y programado usando el proceso normal.
- **Parada:** El trabajo debe ser realizado durante las paradas de producción programadas.

Evidentemente, los trabajos con prioridad **Emergencia**, no pueden ni deben ser incluidos en el histórico de pendientes, pero si reflejados en el histórico del equipo.

Un Backlog con poco contenido indica generalmente que no se está planificando bien las actividades de mantenimiento, por el contrario, si tiene demasiado, puede indicar un alto grado de tareas realizadas como resultado de emergencias, con lo que el resultado es el mismo, poca planificación de mantenimiento.

En resumen, el contenido de un Backlog debe ser aquel que permita al planificador, la flexibilidad necesaria para programar los cambios que sean necesarios teniendo en cuenta las prioridades. Algunas de las medidas que indican que el contenido de un Backlog es el adecuado son:

• Ningún fallos.

• Ninguna parada de producción no programadas.

• Todo el trabajo Programado está Planificado.

### • **Disponibilidad de Materiales**

El planificador de mantenimiento debe asegurarse de que el material de recambios necesario para efectuar un trabajo estará disponible en la fecha requerida. No se debe programar una orden de trabajo sin tener la seguridad de que los materiales necesarios para realizarlo están en la planta. Por lo que si se cuenta con un sistema de información de materiales este debe ser capaz de informar al planificador de cuándo podrá tener los materiales a su disposición.

- **Disponibilidad de Recursos/Tiempo Estimado**

De la misma manera, el planificador debe asegurarse de que los recursos humanos planificados para el trabajo también estarán disponibles cuando sea necesario. Asimismo, debe estimar el tiempo de ejecución, este dato es muy importante porque servirá para hacer posteriores ajustes en los calendarios de mantenimiento.

A través de la estimación de los materiales necesarios y de los recursos humanos, el planificador podrá estimar un costo por cada trabajo que deba realizarse. Esta es una información muy importante, ya que no sólo le permitirá comparar la estimación con la realidad y efectuar los ajustes necesarios, sino también, en caso de que las desviaciones no sean las esperadas, preguntarse qué es lo que ha causado tal desviación y corregirla.

Es importante recordar que el objetivo básico es la reducción de costos de mantenimiento.

- **Disponibilidad del Equipo**

El planificador debe tomar en cuenta si los trabajos han de realizarse con el equipo en marcha o parado.

Si el trabajo puede realizarse con el Equipo en marcha, sólo tomará en cuenta el aspecto de los recursos humanos, pero si necesariamente ha de estar parado, entonces debe conocer todos los aspectos relativos a Producción, es decir, estar informado de cuando el equipo estará parado por necesidades de producción.

Existe un aspecto no por ello menos importante para los trabajos planificados en lo relativo a disponibilidad de equipos, se trata de las oportunidades de mantenimiento, este concepto aplica cuando los equipos o instalaciones paran por causas que le son ajenas, que fallen otros equipos y tenga que parar el proceso de producción completo. Evidentemente tanto el personal técnico como operacional debe estar preparado para cubrir estos tiempos muertos hasta que se solucione el problema en cuestión, por tanto el planificador de mantenimiento debe tener en cuenta ésta eventualidad y asignar trabajos que no requieran grandes esfuerzos ni que contemplen materiales que no esté seguro de disponer cuando ocurran este tipo de paradas.

### 3.2.2.

## Eficiencia energética aplicando el mantenimiento preventivo en plantas industriales

- **Concepto de eficiencia energética**

La eficiencia energética se conoce como el conjunto de programas y estrategias para reducir la energía que emplean determinados dispositivos y sistemas sin que se vea afectada la calidad de los servicios suministrados.

Con lo anterior la Eficiencia Energética implica poder realizar el mismo trabajo, con igual o menos energía, para poder lograr esto, se debe:

- Reducir las pérdidas de energía.
- Aumentar el rendimiento energético, es decir: el trabajo que se obtiene, para la misma energía consumida.

Debido al progresivo aumento en el costo tanto de los combustibles, como de la energía eléctrica; de la dependencia de los combustibles fósiles y de la demanda creciente de energía, poco a poco, las empresas están comenzando a tomar conciencia de la relevancia de la eficiencia energética.

Ahora bien, como el objetivo de mantenimiento es **asegurar la competitividad de la empresa**, en esa medida es necesario aumentar la confiabilidad de los equipos, es decir, disminuir la cantidad de fallas que generan interrupciones no programadas, a fin de entregar la disponibilidad requerida por operaciones.

Tal como lo muestra el concepto de **confiabilidad operacional**, el área de mantenimiento no es la única responsable por la confiabilidad final de los equipos. Lo anterior involucra todo el sistema, ya que toda planta industrial o empresa de servicios deberá estar integrada por: proceso, tecnología y personas. De esta forma se puede relacionar la confiabilidad operacional con los siguientes factores determinantes:

- Confiabilidad de equipos.
- Mantenibilidad de equipos.
- Confiabilidad humana.
- Confiabilidad de procesos.

Como se indicó anteriormente, un equipo está en estado de falla, cuando no está cumpliendo con alguna de las funciones requeridas.

Si dentro de las funciones deseadas, se incluye el consumo energético y el desempeño del equipo, la ineficiencia energética se podrá tratar, como cualquier otra falla parcial.

Por lo cual, el plan de mantenimiento, debe diseñarse tomando en cuenta, el impacto de una falla en:

- En la operación.
- En la calidad.
- La seguridad de las personas e instalaciones.
- En el medioambiente.

La cuantificación del incremento del consumo energético de cada falla, será lo que justifique cada una de las acciones a incluir en el plan de mantenimiento, para evitar la ineficiencia energética.

Muchas tareas básicas de complejidad menor y bajo costo de implementación, pueden tener gran incidencia en la eficiencia energética, generando grandes reducciones en el consumo de energía en la empresa, tales como:

- Rutinas de limpieza: condensadores evaporativos, filtros de sistemas de acondicionamiento térmico, generadores de vapor, intercambiadores, etcétera.
- Rutinas de inspección y reparación de pérdidas de fluidos: aire comprimido, agua, gases comprimidos, vapor, etcétera.
- Rutinas de inspección y reparación de aislaciones.
- Rutinas de inspección y reparación de trampas de vapor.
- Tratamiento de agua para generadores de vapor, condensadores evaporativos y torres de enfriamiento.

También dentro del plan de mantenimiento, se deben prever tareas de monitoreo de distintas condiciones y/o parámetros operativos de las máquinas e instalaciones, para poder detectar cuando existe un desvío.

## Unidad 3. Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos.

El **monitoreo de condición** es una herramienta que puede ser utilizada para monitorear el desempeño de los equipos, a través de la medida y seguimiento de determinados parámetros físicos para lograr anticiparse a la falla. Tales monitoreos en la planta pueden ser:

- Monitoreo de las condiciones dinámicas de la maquinaria: Vibraciones
- Monitoreo de la Temperatura
- Inspección mediante Termografía Infrarroja
- Medición del desempeño de equipos:
- Presión
- Caudal
- Potencia entregada
- Consumo eléctrico
- Consumo de combustible



Figura 13. Monitoreo de condición

El mayor beneficio que se tiene de éste, es lograr una alerta temprana, a manera de programar una intervención correctiva, una forma de minimizar las consecuencias, es decir, el sobreconsumo energético.

Muchas fallas, con modos de falla relacionados con el desgaste, ocasionarán durante las etapas iniciales, un incremento en el consumo de energía.

Al implementar técnicas de monitoreo de condición, que permitan detectar las fallas en su etapa temprana, también se estará contribuyendo en el cuidado de la eficiencia energética.

### 3.2.3.

## Sistema de gestión energética enfocada a equipos industriales

Para una mejor compresión de lo que es un sistema de gestión energética enfocado a equipos industriales, se usa como base la Norma ISO 50001 la cual es un Sistema de Gestión Energética que **certifica la existencia de un sistema optimizado para el uso correcto de la energía en cualquier organización**, sea cual sea su naturaleza o tamaño, su actividad o su dedicación.



Figura 14. ISO 50001

## Unidad 3. Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos.

La norma ISO 50001 **sustituye a la norma UNE EN 16001 y recoge algunos cambios sustanciales respecto a la misma**. Esencialmente esos cambios se refieren a la desaparición del concepto de “aspecto energético” para la aparición del concepto de revisión energética y cálculo de la línea base.

Este giro hace a la norma ISO 50001 **más técnica en comparación de la norma EN 16001**, acercándola al concepto de auditoría energética, equiparable con el de revisión energética. Además, **introduce algunas especificaciones en el control operacional referidas a requisitos en la compra de energía**.

- **OBJETIVO DE LA NORMA ISO 50001**

**Facilitar a las organizaciones, independientemente de su sector de actividad o su tamaño**, una herramienta que permita la **reducción de los consumos de energía, los costos financieros asociados y consecuentemente las emisiones de gases de efecto invernadero**. Basada en el principio “medir para identificar, e identificar para mejorar”, la implantación de un Sistema de Gestión Energética de acuerdo a la norma ISO 50001 permite a las administraciones públicas y empresas ahorrar energía, haciendo que cualquier inversión en esta línea tenga un retorno económico inmediato, al contrario con lo que sucede con los sistemas de gestión medio ambiental.

- **BENEFICIOS QUE SE OBTIENEN AL IMPLANTAR LA NORMA ISO 50001**

Son varios los beneficios derivados de la implantación de la **Norma ISO 50001**. La naturaleza de los mismos son claros desde un punto de vista medio ambiental, económico, operativo y de imagen. Algunos de ellos son:

- Ahorro de energía en el corto, medio y largo plazo.
- Toma de conciencia y control de la cantidad de energía consumida en cada proceso.
- Toma de conciencia de las medidas de ahorro energético para los procesos consumidores de energía en la organización.
- Reconocimiento e imagen de cara al exterior (clientes, proveedores, accionistas, opinión pública) de su compromiso con un consumo energético sostenible.

Si se desarrollarán los objetivos que esta norma pide, además de aplicarlos a los objetivos industriales de una empresa se obtendrían beneficios como los que se indicaron anteriormente.

Para ello, se debe implementar un sistema de gestión energética, el cual implica desarrollar manuales, procedimientos, formatos enfocados a los equipos y/o un sistema para el correcto uso de la energía en los equipos principalmente en el capítulo 4 de la norma ISO 50001. Este sistema debe contener:

- 1.** Objeto y campo de aplicación.
- 2.** Referencias normativas.
- 3.** Términos y definiciones.
- 4.** Requisitos del sistema de gestión de la energía

#### **4.1. Requisitos generales**

Define el objetivo del sistema de gestión: mejorar del desempeño energético para así identificar las oportunidades de mejora y su implementación.

#### **4.2. Responsabilidad de la dirección**

Define los requisitos en relación al compromiso de la dirección de la empresa con el apoyo al sistema de gestión de la energía principalmente en:

- Asignación de responsabilidades.
- Asignación de recursos.

#### **4.3. Política energética**

Define los requisitos para establecer un plan de mejora en el desempeño energético, basado en los siguientes puntos:

- Compra de productos y servicios energéticamente eficientes.
- Compromiso con la mejora continua del desempeño energético (todo lo relacionado con la eficiencia en el uso y consumo de la energía).
- Compromiso de cumplimiento con los requisitos legales y los acordados internamente en relación con el uso eficiente de la energía.

#### **4.4. Planificación energética**

Se establecen los requisitos para la elaboración de un documento de planificación energética, basándose en:

- Identificar requisitos legales y otros requisitos.
- Revisión energética basándose en el análisis del consumo de energía, la identificación de las áreas de uso significativo de la misma y la identificación y registro de las oportunidades de mejora del desempeño energético.
- Establecer una línea de base de uso y consumo energético con base al estudio del punto anterior.
- Establecer los indicadores adecuado para realizar el seguimiento del desempeño energético.
- Establecer los objetivos y metas energéticas y planes de acción para conseguirlos.

#### **4.5. Implementación y operación**

Define los requisitos de la implementación de los planes de mejora del desempeño energético basado en:

- Competencia de la organización en relación al uso de la energía garantizada por la formación y la toma de conciencia.
- Comunicación apropiada de la política energética en la organización.
- Control documental.
- Control operacional.
- Diseño: tomar en cuenta criterios de eficiencia energética en el diseño de nuevas instalaciones, reformas, compras de equipos, especificaciones de productos, etcétera.
- Criterios de eficiencia energética en la adquisición de productos y servicios.

#### 4.6. Verificación

Requisitos de la revisión del cumplimiento de los planes energéticos establecidos mediante:

- Seguimiento, mediciones y análisis.
- Evaluación del cumplimiento de los requisitos legales y otros establecidos.
- Auditoria interna del sistema de gestión de la energía.
- No conformidades, acciones correctivas y preventivas.
- Control de registros.

#### 4.7. Revisión por la dirección

Establece los requisitos de revisión del sistema de gestión de la energía de la organización para asegurarse de su conveniencia, adecuación y eficacia continuas.

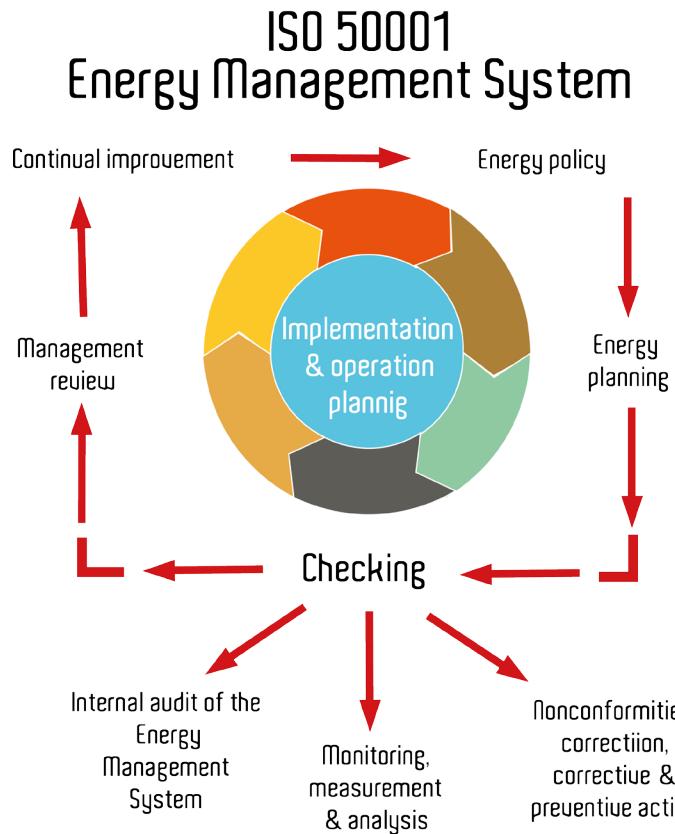


Figura 15. ISO 50001

3.2.4.

## Optimización de la energía en la industria

En la gran mayoría de las empresas, principalmente industriales existen pérdidas innecesarias de energía, que representan mayores gastos para la empresa y economía de la misma.

Para reducir estas pérdidas es necesario optimizar el uso de la energía a través de un estudio de **optimización del uso de la energía**, reduciendo así, las pérdidas que puedan tener estas energías.

**El objetivo de este estudio, es ahorrar energía y/o incrementar la capacidad productiva.**

Cada estudio energético tendrá características propias según el tamaño de la empresa, su complejidad y según el monto de su cuenta anual por energía.

Un estudio integral de energía implica una serie de acciones que han de realizarse dentro de la empresa y en las cuales necesariamente tienen que estar involucrados la gerencia y todo el personal de la empresa.

Este estudio sirve para establecer, mediante procedimientos técnicos, el uso que se hace de la energía en una empresa, lo que permite recomendar los métodos para optimizar su uso (disminuir su consumo) y, por consiguiente, reducir los costos de producción.

Básicamente, es un análisis progresivo que revela dónde y cómo es utilizada la energía en una empresa y como esta debe ser usada eficientemente. Este estudio recibe el nombre de **diagnóstico energético**.

A continuación se enlistan los pasos a seguir para un diagnóstico energético:

## **I. RECOLECTAR Y ANALIZAR LOS DATOS DE CONSUMO.**

La primera fase de este estudio es recolectar y analizar los datos disponibles de costo y de consumo de energía, con el propósito de:

- 1.** Examinar la historia del consumo y de los costos de energía.
- 2.** Determinar la energía empleada para cada área del proceso.
- 3.** Determinar el consumo de energía por unidad de producción.

Las fuentes principales de información histórica del consumo y del costo de la energía son las facturas. Además de conocer la información presentada en éstas, el consumidor debe familiarizarse con las características de su estructura, como lo son: la carga base, la relación entre el nivel de consumo y la carga unitaria, la carga por demanda, la demanda contratada, la cláusula por ajuste de combustible y la corrección por volumen.

La energía eléctrica consumida es verificada utilizando analizadores de energía y verificando las horas mensuales de operación.

## **II. II RECORRIDO EN LA PLANTA.**

Completada la fase anterior, el ingeniero en mantenimiento en energía inicia un recorrido por la planta y mantiene comunicación con los ingenieros de proceso, los operadores y con el personal administrativo, para obtener una visión completa y equilibrada de la planta.

Los objetivos de esta fase son:

- 1.** Describir los consumos de energía por área.
- 2.** Familiarizarse con la operación del proceso productivo.
- 3.** Identificar posibles oportunidades de conservación de energía.

### **III. III REALIZAR MEDICIONES.**

Cuando ya son conocidos los aspectos anteriores, el ingeniero determina los puntos clave para efectuar las mediciones de energía que constituye la base del estudio para determinar los proyectos de ahorro energético y cuantificarlos, usualmente se realizan en:

- 1.** Las acometidas principales de la empresa. Según sea la variación de la demanda eléctrica diaria y consumo, las mediciones son tomadas con el analizador de energía durante un período adecuado. Estas mediciones servirán para identificar las horas de demanda máxima y el consumo por área de proceso.
- 2.** Los consumidores mayores de energía eléctrica.
- 3.** Los motores y la iluminación.
- 4.** La producción de vapor y/o calor y los consumidores mayores.
- 5.** Recuperación de calor y/o vapor.
- 6.** Refrigeración y aire acondicionado.
- 7.** Procesos específicos.

### **IV. IV DETERMINAR EL PERFIL ENERGÉTICO DE LA PLANTA.**

Luego se determina el perfil energético que es el balance entre la energía consumida y la energía utilizada incluidas las pérdidas, que el ingeniero obtiene, basado en la información de la empresa, en las observaciones y las mediciones realizadas en el área eléctrica, térmica y frigorífica.

Es recomendable expresar este perfil en términos energéticos y monetarios incluyendo las áreas que contribuyen al gasto de energéticos. El perfil es presentado en gráficas, diagramas y cuadros comparativos.

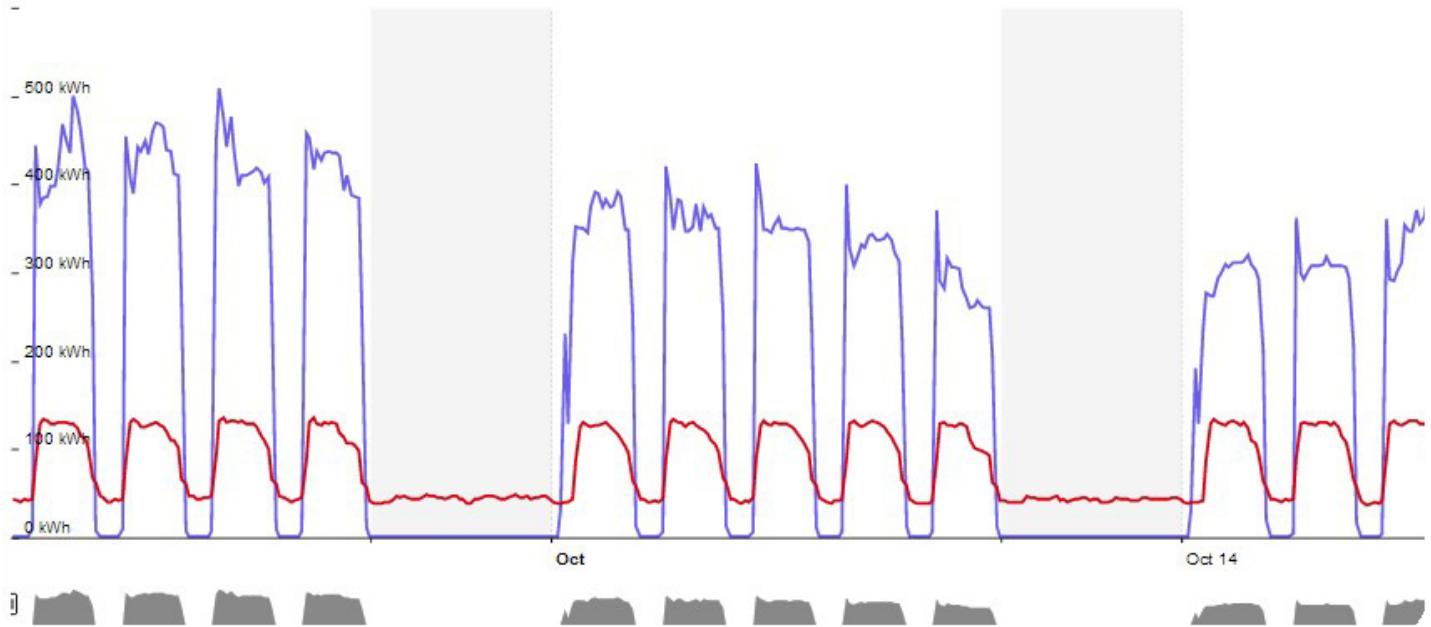


Figura 16. Perfil en términos energéticos

## V. IDENTIFICAR LOS PROYECTOS DE OPTIMIZACIÓN DE ENERGÍA

Los proyectos de optimización de energía vienen caracterizados por la identificación de oportunidades de conservación de energía, que son toda oportunidad de disminuir, sustituir y/o recuperar energía, a través de variables de operaciones y equipos eficientes o técnicas de operación y mantenimiento.

La identificación y evaluación de las oportunidades de optimización de energía en las áreas de: vapor y/o calor, sistemas eléctricos, paneles de distribución, motores, aire comprimido, aire acondicionado, refrigeración, y procesos específicos como carbonatación, se identificarán, para desarrollarlos como proyectos los cuáles deben contener:

1. Recomendaciones.
2. Justificación.
3. Ahorro energético.
4. Ahorro monetario.
5. Inversión estimada.

46. Período compuesto de recuperación y/o costo del ciclo de vida (costo-beneficio).

Estos proyectos una vez evaluados y sometidos a consenso y aprobados son ejecutados para su aplicación correspondiente.

Esta metodología representa un resumen muy concreto de lo que considera la norma ISO 50001 de sistemas de gestión de la energía.

**3.2.5.**

## Propuestas de medidas generales y recomendaciones energéticas para equipos industriales.

Dentro del mantenimiento y a la vez en el plan de mantenimiento se pueden dar propuestas para recomendaciones energéticas para un eficiente ahorro de energía.

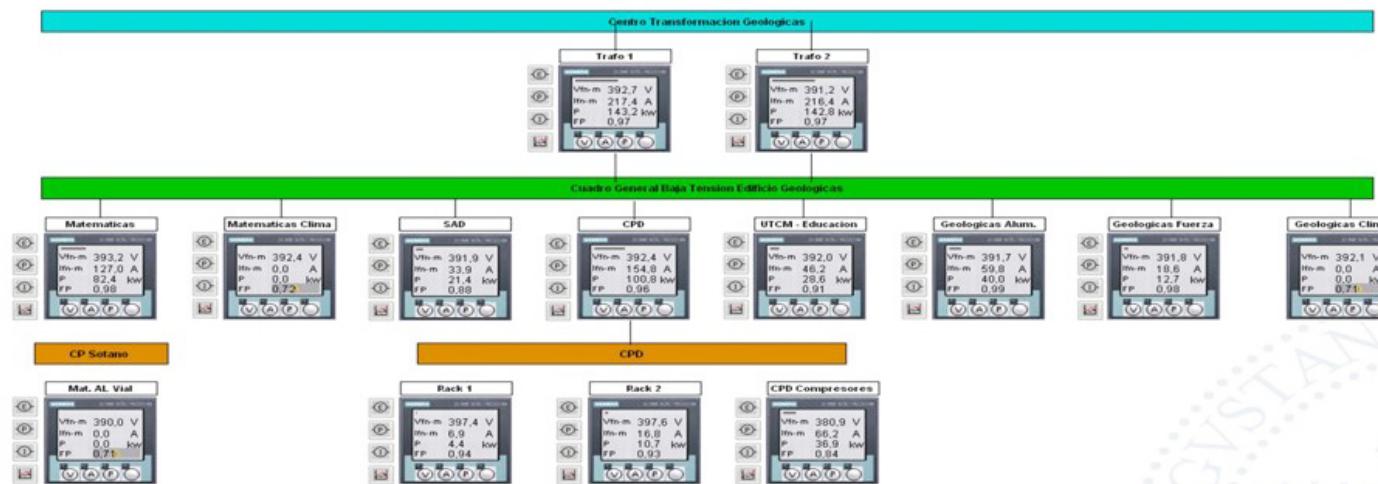
Lo anterior puede ser manejaren las siguientes áreas de una empresa, tal como se muestra en la figura siguiente.



**Figura 17. Plan de mantenimiento en diferentes áreas**

Estas propuestas se complementan con el estudio del diagnóstico energético pues pueden ser muy generales o particulares pero deben sectorizarse.

Para realizar lo anterior, se deben de sectorizar consumos reales de energía por área, para poder determinar las áreas de mayor oportunidad. Esto es conocer el consumo individual de cada área.



**Figura 18. Sectorización de consumos reales**

Una vez conocidos los consumos individuales de energía, se pueden diagnosticar las áreas que necesitan medidas y recomendaciones energéticas. A manera de ejemplo se enlistan las siguientes:

- Instalaciones de frío industrial (cámaras, sistemas evaporativos, etcétera).
- Instalaciones de aire comprimido.
- Instalaciones de iluminación.
- Instalaciones de transformación eléctrica.
- Instalaciones térmicas de proceso (calderas, hornos, secadores, etcétera).
- Motores, bombas y ventiladores.
- Resto de maquinaria e Instalaciones.

## Unidad 3. Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos.

Algunas recomendaciones generales por parte de fabricantes para áreas que más consumen energía son:

### Recomendaciones de eficiencia energética en instalaciones de cadena fría (frío industrial).

- **Maquinas frigoríficas (área de compresores)**
  - **Sustitución de los compresores** por otros de mejor rendimiento. Parcialización de cargas o carga variable.
  - **Centralización de equipos.** Se mejora en eficiencia y en consumo, al disponer de simultaneidad de cargas.
  - **Instalar compresores multietapas**, generando circuitos a diferentes presiones para abastecer demandas frigoríficas a diferentes temperaturas.
  - **Recuperación de calor de refrigeración** de los compresores, para abastecer demandas térmicas de baja temperatura (calefacción o agua caliente).



Figura 19. Maquinas frigoríficas (área de compresores)

- **Máquinas frigoríficas (evaporador):**

- Adecuar la **temperatura de evaporación** a la **más alta posible**. Para tener una presión más alta y por tanto menor consumo en el compresor.
- **Dimensionamiento adecuado** de evaporadores.
- **Desescarche por fluido caliente, no eléctrico.**
- **Sobrecalentamiento del líquido.** Intercambiador aspiración líquido.



Figura 20. Maquinas frigoríficas (evaporador)

- **Máquinas frigoríficas (condensador):**

- Adecuar la **temperatura de condensación** a la **más baja posible**. Para tener una presión más baja y por tanto menor consumo en compresor.
- **Dimensionamiento** adecuado de condensadores.
- **Aprovechamiento del calor** de condensación para otros usos



Figura 21. Maquinas frigoríficas (condensador)

● **Cámaras frigoríficas:**

- Mejora de aislamiento del recinto frigorífico.
- Instalar puertas de acceso automáticas y de apertura rápida.
- Creación de una antecámara acondicionada (para evitar la entrada a la cámara de aire sin tratar).
- Aprovechar la máxima capacidad con objeto de disminuir las superficies de pérdidas.
- Programar adecuadamente carga y descarga para no abrir las cámaras con frecuencia.
- Reducir al mínimo los elementos generadores de calor en el interior de la cámara. Instalar detectores de presencia para el alumbrado.
- No introducir productos calientes.
- Utilizar recipientes bien aislados para el traslado de los productos congelados o refrigerados.
- Efectuar rápidamente los trasladados entre cámara y transporte.

- Reducir la concentración de oxígeno en la conservación de vegetales para aumentar la temperatura de conservación.



**Figura 22. Cámaras frigoríficas**

### **Recomendaciones de eficiencia energética en instalaciones de aire comprimido.**

- **Ahorro en la utilización:**

Presión: un primer aspecto es comprobar si un determinado trabajo se puede realizar con menos presión, ya que si se realiza un trabajo a una presión mayor de la necesaria, se está consumiendo una energía que no es necesaria.

- **Sectorización:**

Sectorizar por presiones: dar a cada elemento la presión mínima de actuación (reguladores).

Sectorizar la fuga en momentos no productivos:

- Corte del suministro de aire a una instalación.
- Cuando no está trabajando (electroválvulas).

- **Monitorización**

Es la única manera de cuantificar la conveniencia o no de ciertas intervenciones, ya que se puede conocer el consumo de aire por horas de producción, y de esta manera se puede evaluar el grado de ahorro introducido.

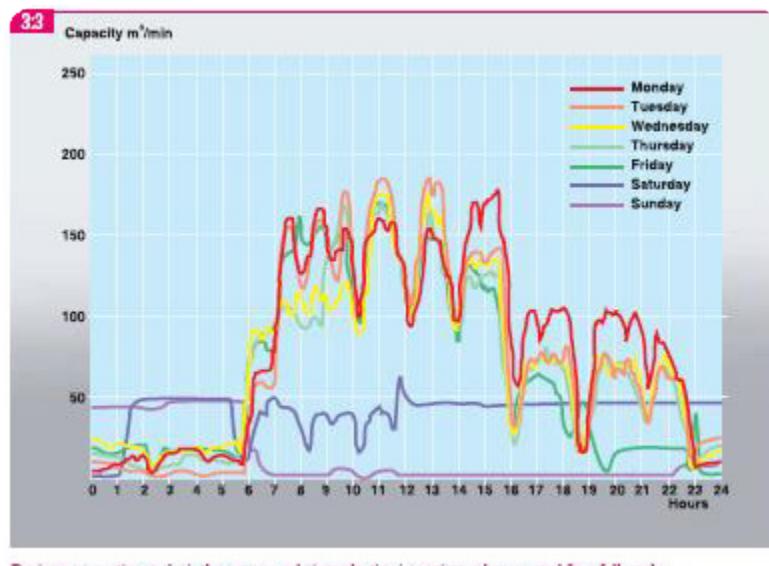


Figura 23. Monitorización

- **Calidad del aire**

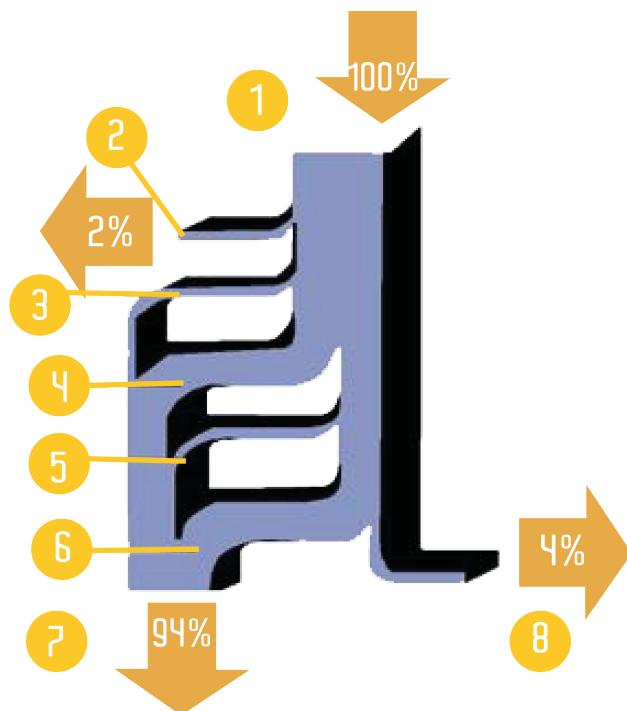
Un aire en malas condiciones es fuente de despilfarro, aparecen averías, mal funcionamiento, pérdidas de presión, etcétera.



Figura 24. Calidad de aire

- **Ahorro en la generación:**

- Enfriar la toma de aire de los compresores.
- Recuperar el calor de refrigeración de compresores.
- Mejorar la eficiencia de los compresores.
- Evitar que los compresores trabajen en vacío.
- Variación de frecuencia.
- Compresión por etapas.
- Mejora en el secador frigorífico.



- 1= Entrada total de energía eléctrica o mecánica.  
 2= Irradiación de calor al aire circundante (sala de compresores)  
 3= Emisión de calor de la sección de baja presión  
 4= Emisión de calor del refrigerador intermedio  
 5= Emisión de calor de la sección de alta presión  
 6= Emisión de calor del postrefrigerador.  
 7= Cantidad total de calor que podría recuperarse teóricamente  
 8= Calor residual que permanece en el aire

**Figura 25. Diagrama calorífico de un compresor**

## Recomendaciones de eficiencia energética en iluminación industrial.

- Aprovechamiento máximo de la **luz natural**.
- Estudio luminotécnico para analizar la **idoneidad de las lámparas** y los períodos de retorno de su cambio (Importante altura, mantenimiento, horas de uso, tipo de trabajo, etc.).
- Sustitución de **balastros electromagnéticos por balastros electrónicos** (ahorros de hasta el 20 % del consumo y muchas otras ventajas).
- **Gestión inteligente de la iluminación**, mediante automatización centralizada.
- Instalación de otros **sistemas de regulación y control** (interruptores temporizados, sensores de presencia, etc.).
- Adecuado **mantenimiento y limpieza** de las luminarias.



Figura 26. Iluminación industrial

## Recomendaciones de optimización de transformadores eléctricos

Las principales medidas a tomar para aumentar la eficiencia energética en el uso de transformadores son las siguientes:

- Sustituir los transformadores antiguos por otros nuevos.
- Desconectar los transformadores que estén en vacío.
- Acoplar correctamente los transformadores en paralelo.

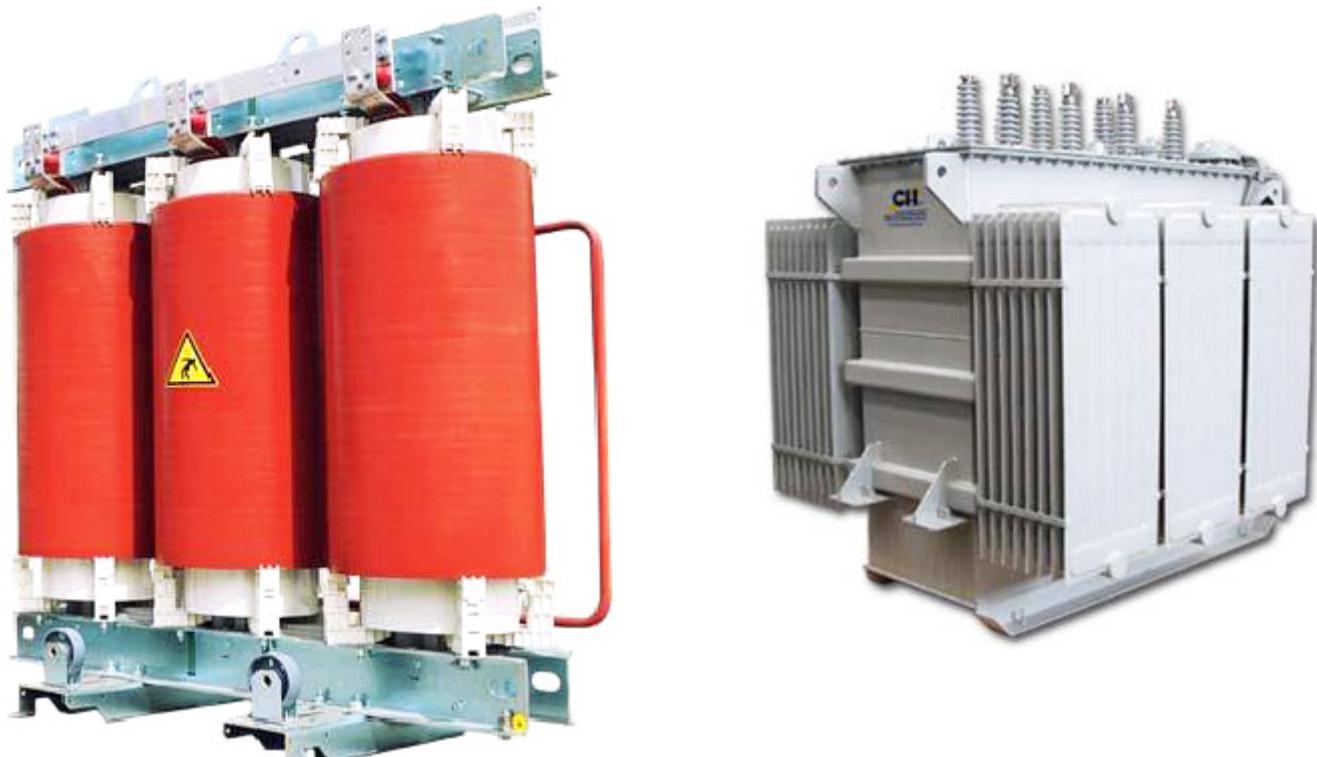


Figura 27. Transformadores eléctricos

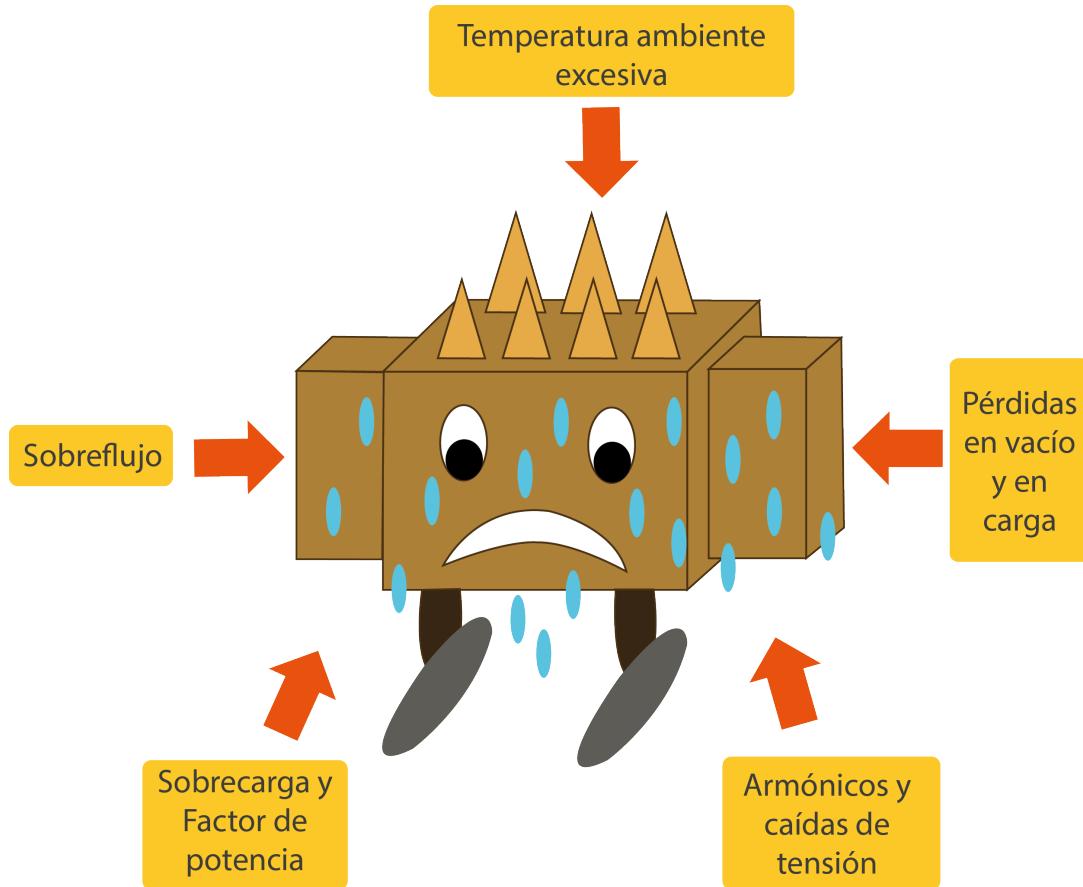


Figura 28. Sobre carga y factor de potencia

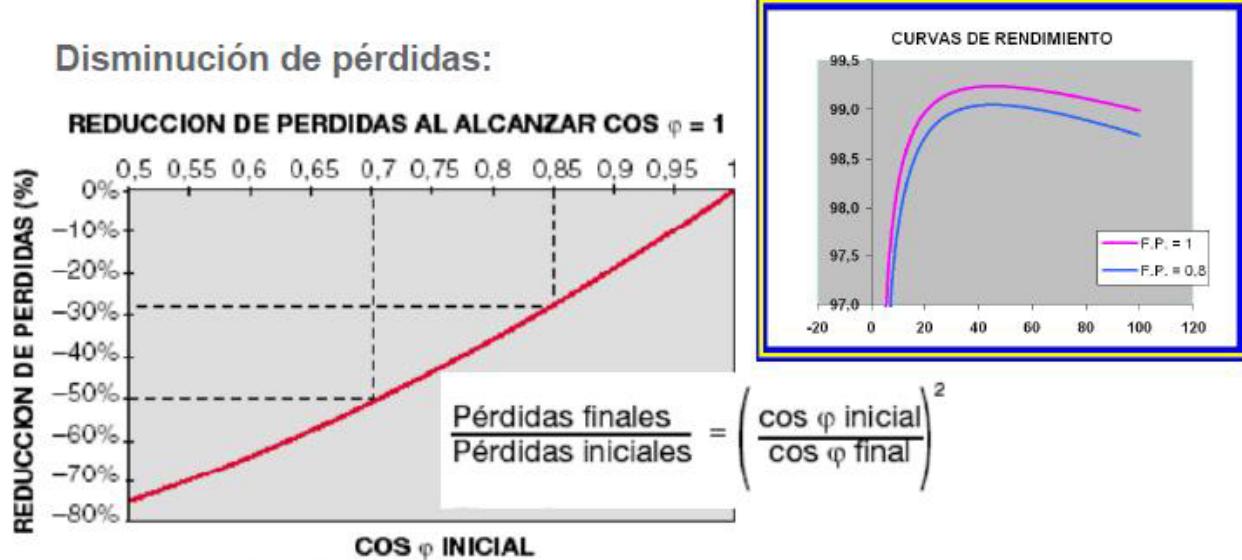
## Unidad 3. Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos.

- Ajuste del factor de potencia

Para calcular el ajuste del factor de potencia se hace uso de la siguiente fórmula:

$$P \text{ (kW)} = S \text{ (kVA)} \times \cos. \Phi$$

Ejemplo:



Reducción de pérdidas por efecto joule

Ejemplo:

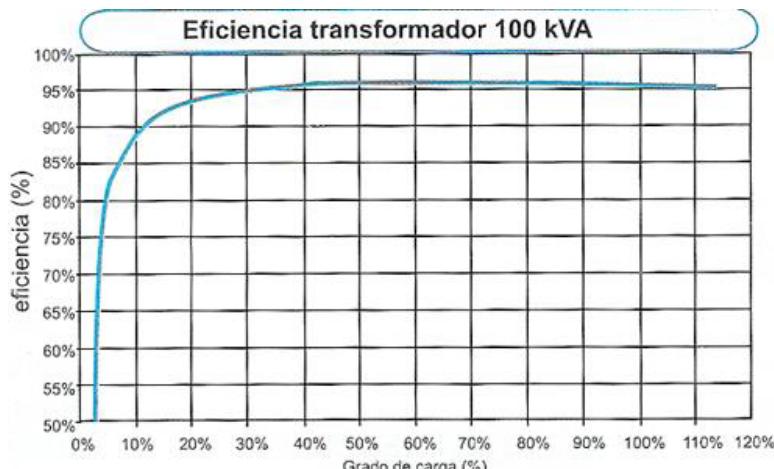
Transformador de 630 kVA, Pcu = 6.500 kW cos.  $\varphi = 0,70$

Transformador de 630 kVA, Pcu = 3.316 kW cos.  $\varphi = 0,98$

**Figura 29. Ajuste de factor de potencia**

- Ajuste del factor de carga

En los transformadores es recomendable, como cualquier sistema eléctrico que estén trabajando en su punto óptimo de funcionamiento, que coincida con 80 - 100 % de la carga.



**Figura 30. Ajuste de factor de carga**

## Recomendaciones de eficiencia energética en motores y bombas.

- Comprobar que su **consumo corresponde con el valor de la placa del motor** (1<sup>a</sup> acción de una auditoría energética). Muchas veces el motor trabaja fuera del punto nominal de potencia (W), con una eficiencia ( $\eta$ ) mucho menor.
- El tamaño es importante; **evitar sobredimensionar el motor.**
- **Regulación de la velocidad de los motores** para bombeos o ventiladores. Ahorro de energía de hasta el 50% vs control de caudal con medio mecánicos, además en los arranques los picos de corriente de 7 veces a 3 veces la nominal; mayor vida útil.
- **Utilización de motores de alto rendimiento** (No comprar motores por el precio de venta, amortizaciones muy rápidas).
- **Motores síncronos** menor energía que los asíncronos (tienen algunas limitaciones).



Figura 31. Motores y bombas

# Conclusiones

El mantenimiento preventivo es un pilar de suma importancia dentro de una planta industrial o empresa donde se aplique el mantenimiento.

Existen diversas metodologías para elaborar planes de mantenimiento dentro de las cuales son consideradas de manera muy puntual el RCM ya que involucra a otros planes como el FMEA.

Si el área de mantenimiento desea implantar procedimientos de mantenimiento puede empezar con el mantenimiento autónomo, ya que al aplicarse se trabajaría con el personal en la cultura del mantenimiento preventivo.

Asimismo, existen diferentes softwares para su uso en la implementación de un mantenimiento preventivo en una planta, su uso y selección dependen del usuario que desea cumplir sus objetivos de su empresa.

La eficiencia energética con la metodología del diagnóstico energético es una herramienta muy útil en los planes de mantenimiento ya que al ser aplicado básicamente son rutinas de inspección y monitoreo de las condiciones de parámetros operativos.

Por último, para poder implementar un sistema de gestión energética con el mantenimiento es necesario aplicar y desarrollar la normativa ISO 50001 en todos los puntos que marca esta norma.

# Fuentes de consulta

- AENOR México Norma ISO 50001 de Sistemas de Gestión. Recuperado de [https://agenciarelacionespublicasmmr.wordpress.com/2011/09/05/...](https://agenciarelacionespublicasmmr.wordpress.com/2011/09/05/)
- Análisis De La Norma COVENIN 3049-93 | milagrosalazar. Recuperado de <https://milagrosalazar.wordpress.com/2011/04/10/analisis-de-la...>
- Árbol de decisiones, una herramienta para decidir ... Recuperado de [www.corpxcoach.com/blog/item/arbol-de-decisiones.html](http://www.corpxcoach.com/blog/item/arbol-de-decisiones.html)
- Comprendiendo las estrategias de mantenimiento. Recuperado de [www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM Central Web Documents](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM Central Web Documents).
- Contenido de ISO 50001 | ISO 50001 [ISO50001.nom.es/contenido-iso-50001](http://ISO50001.nom.es/contenido-iso-50001)
- FMEA | Failure Mode and Effects ... Recuperado de <https://quality-one.com/FMEA>
- La Norma SAE JA 1011 - rcm3.org. Recuperado de [rcm3.org/la-norma-sae-ja-1011](http://rcm3.org/la-norma-sae-ja-1011)
- La Norma ISO 50001 de Sistemas de Gestión Energética ... Recuperado de [asesoriaascma.com/noticias.pl?idp=18](http://asesoriaascma.com/noticias.pl?idp=18)
- Mantenimiento Autónomo. Recuperado de [www.mantenimientoplanificado.com/j\\_guadalupe\\_articulos...](http://www.mantenimientoplanificado.com/j_guadalupe_articulos...)  
Archivo PDF
- Mantenimiento de infraestructura en ISO 9001. Recuperado de [www.calidad-gestion.com.ar/boletin/69\\_mantenimiento\\_de\\_infraestru...](http://www.calidad-gestion.com.ar/boletin/69_mantenimiento_de_infraestru...)
- Manual de gestión de mantenimiento dirigido a pequeñas empresas. Recuperado de [science.oas.org](http://science.oas.org)
- Mantenimiento preventivo' 1.1 definición el ... Recuperado de [www.bdigital.unal.edu.co/794/3/163\\_-\\_2\\_Capi\\_1.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/794/3/163_-_2_Capi_1.pdf)  
Archivo PDF

### Unidad 3. Mantenimiento preventivo de instalaciones y equipos.

- Mantenimiento preventivo y correctivo: ventajas y desventajas del mantenimiento. Recuperado de [senaprevencorrect.blogspot.com/p/ventajas-y-desventajas-del.html](http://senaprevencorrect.blogspot.com/p/ventajas-y-desventajas-del.html)
- Metodología de estudios de Optimización del Uso de la ... Recuperado de [senacyt.concyt.gob.gt/portal/attachments/article/575/Metodolog%F3a...](http://senacyt.concyt.gob.gt/portal/attachments/article/575/Metodolog%F3a...)  
Archivo PDF
- Norma AFNOR NF x 60 010 | ary javier - academia.edu. Recuperado de [www.academia.edu/9553128/NORMA\\_AFNOR\\_NF\\_X\\_60\\_010](http://www.academia.edu/9553128/NORMA_AFNOR_NF_X_60_010)
- SECRETARIA DEL TRABAJO Y PREVISION SOCIAL - gob.mx. Recuperado de [www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-004.pdf](http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-004.pdf)  
Archivo PDF
- Tipos de mantenimiento - typman.com. Recuperado de [typman.com/tipos-de-mantenimiento.aspx](http://typman.com/tipos-de-mantenimiento.aspx)
- TPM - 7 pasos del mantenimiento autónomo | SPC ... Recuperado de <https://spcgroup.com.mx/tpm-7-pasos-del-mantenimiento-autonomo>