# Mantenimiento

# Producmática 2021

# Integrantes:

- Bruno Peralta
- Florencia Prado
- Julián Rayes
- Ulises Bonada
- Tomás Mercado
- Martin Herrera
- Franco Barroso
- Juan Stella
- Luis Agustin Corazza
- Mauricio Casarotto
- Agustín Gonzalez
- Juan Camaño
- Tomás Suarez
- Alejandro Bullaude
- Ezequiel Etura
- Francisco Miranda
- Lautaro Peña
- Matías Gaviño

¿Qué es el Mantenimiento?	7
Disponibilidad	8
Confiabilidad	9
Vida útil de la instalación	10
Cumplimiento del presupuesto	10
Beneficios del mantenimiento industrial	11
Ejemplos de falta de mantenimiento o mantenimiento inadecuado en industrias.	12
Variables del Mantenimiento	13
Evolución del concepto de Mantenimiento	<u>15</u>
Áreas de acción del mantenimiento	16
Organización del mantenimiento	16
Niveles de Mantenimiento	19
Niveles de Mantenimiento según la complejidad:	19
Niveles de Mantenimiento según la función:	22
Nivel Instrumental:	22
Nivel Operacional:	23
Nivel Táctico:	23
Nivel Estratégico:	23
Tipos de Mantenimiento	23
Mantenimiento correctivo	24
Mantenimiento preventivo	25
Mantenimiento predictivo	26
Otros tipos de mantenimientos	28
Mantenimiento Cero Horas (Overhaul)	28
Mantenimiento de Emergencia	28
Mantenimiento Legal	29
Mantenimiento subcontratado a un especialista	29

Modelos de mantenimiento	29
Modelo correctivo	30
Modelo condicional	31
Modelo sistemático	31
Modelo de alta disponibilidad	32
Tipos de Fallas	32
Definición de falla	32
¿Cómo se clasifican las fallas?	33
Norma IEC 61508	33
Norma ISO/TR 12489	34
Gravedad	35
Diagnóstico de fallas	36
Diagrama de Causa-Efecto	36
Técnica de los 5 porqués	38
Curva de la bañera	38
Etapas del activo	39
Etapa 1: Mortalidad Infantil	39
Etapa 2: Vida útil del activo	40
Etapa 3: Desgaste y envejecimiento	40
Gestión Del Mantenimiento Asistida Por Ordenador	42
Funcionalidades Básicas	43
Módulos de GMAO	43
Módulo de mantenimiento	43
Módulo de inventario	44
Módulo de compras	44
Beneficios de implantar un GMAO	44
Implantación de un GMAO	45
Perfil del Usuario	46

Factores a considerar en la elección de un GMAO	46
Factores tecnológicos	47
Compatibilidad	47
Flexibilidad	47
Escalabilidad	47
Factores de mantenimiento	47
Gestión del parque de maquinaria instalada	47
Planificación de las intervenciones	48
Reporte de la intervención	48
Gestión de recursos humanos	48
Análisis de las actividades	48
Gestión de partes y sugerencias de mejora	48
Toma de requerimientos funcionales del GMAO	48
Gestión de Equipos e Instalaciones	49
Centros de coste	49
Gestión de costes	50
Consulta y análisis del histórico	50
Gestión del Mantenimiento (Predictivo, Preventivo y Correctivo)	50
<u>Órdenes de Trabajo (WO)</u>	52
Gestión de RRHH	53
Integración junto con Gestión de Calidad	53
Alternativas disponibles de Softwares GMAO	54
Conclusión	54
C.M: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	55
Definición de RCM	55
Historia del RCM	57
RCM y NORMAS	58
Uso del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)	60

Ventajas y desventajas	60
Objetivo del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)	62
Preguntas básicas sobre el R.C.M	64
Mantenimiento Productivo Total (T.P.M.)	69
¿Qué es el TPM?	69
Los Pilares del TPM	69
Mejoras enfocadas o mejora orientada (Kobetsu Kaizen)	69
Mantenimiento Autónomo (Jishu Hozen)	70
Mantenimiento planificado	70
Control inicial	71
Mantenimiento de Calidad (Hinshitsu Hozen)	71
Entrenamiento	71
TPM en oficinas	72
Seguridad y medio ambiente	72
Las seis grandes pérdidas	72
<u>Técnicas y herramientas básicas</u>	73
Cómo implementar el mantenimiento productivo total (TPM)	73
Ventajas de implementar TPM	78
¿Quién es responsable del TPM?	78
Diferencia entre TPM y RCM	79
TPM y normas ISO	80
Conclusión	81
Costos de Mantenimiento	81
Costos directos	82
Costos indirectos	82
Costos Globales	82
Costos Fijos: (Mantenimiento Preventivo y/o Predictivo)	82
Costos Variables: (Mantenimiento Correctivo)	83

Costos Financieros: (Repuestos y maquinarias de reemplazo)	83
Costos De Fallo:	83
Cómo reducir los costos	85
Mantenimiento Óptimo y las Curvas de Mantenimiento.	86
¿Qué se entiende por mantenimiento óptimo?	86
Pasos para realizar un mantenimiento óptimo	87
Curvas de Mantenimiento	89
Etapas:	90
Causas de fallos:	90
Conclusión	90
Bibliografía y Fuentes de Referencia	92

# 1. ¿Qué es el Mantenimiento?

El mantenimiento se define como un conjunto de normas, técnicas y actividades establecidas para la conservación de la maquinaria e instalaciones de una planta industrial, para que proporcione mejor rendimiento en el mayor tiempo posible, al costo mínimo.

Se podría pensar que el mantenimiento industrial se basa en arreglar fallas o daños que pueden surgir en instalaciones o equipos de producción, inmediatamente después de que estos ocurren. Sin embargo, el objetivo general del mantenimiento industrial es garantizar la conservación o el restablecimiento de un sistema, una vez presentada una falla, de modo que se alcance un mayor grado de confiabilidad y se garantice el buen funcionamiento del mismo al mínimo coste. De esta manera, el mantenimiento, conserva todos los bienes productivos en las mejores condiciones de funcionamiento y efectividad.

Es su propósito también cumplir con los requisitos del sistema de administración de calidad, las reglas de seguridad para así evitar incidentes e incrementar la seguridad del personal. En todo momento se debe buscar que el personal no tenga que enfrentarse a situaciones que pongan en peligro su integridad física. También se debe cumplir con requisitos de medio ambiente para conseguir el máximo beneficio para las empresas.

Si no hay mantenimiento no se puede producir adecuadamente y por consiguiente las empresas no podrían sacar beneficio ni subsistir.

A pesar de la existencia del mantenimiento industrial, ningún sistema de mantenimiento puede asegurar la inexistencia de fallas, su finalidad es tratar de reducir tanto la frecuencia como la gravedad de las mismas. De esta forma, se espera que la producción pueda desenvolverse en un régimen adecuado, de acuerdo con los planes y programas trazados.

Debido al rápido avance tecnológico como también a la competencia a la que están sometidas las empresas en estos tiempos, se obliga a las empresas a alcanzar un alto nivel de confiabilidad del sistema de producción. El mantenimiento cumple un rol clave para satisfacer estas exigencias, por lo que requiere tanta atención como la producción misma.

Se pueden enunciar una serie de objetivos principales que persigue el mantenimiento industrial, los cuales son los siguientes:

- Cumplir un valor determinado de disponibilidad.
  - Cumplir un valor determinado de confiabilidad.
  - ❖ Asegurar una larga vida útil de la instalación en su conjunto, al menos acorde con el plazo de amortización de la planta.

Conseguir todo ello ajustándose a un presupuesto dado, normalmente el presupuesto óptimo de mantenimiento para esa instalación.

## 1.1. Disponibilidad

La *disponibilidad* de una instalación se define como la proporción del tiempo que dicha instalación ha estado en disposición de producir, con independencia de que finalmente lo haya hecho o no por razones ajenas a su estado técnico.

El objetivo más importante de mantenimiento es asegurar que la instalación estará en disposición de producir un mínimo de horas determinadas del año. Es un error pensar que el objetivo de mantenimiento es conseguir la mayor disponibilidad posible (100%) puesto que esto puede llegar a ser muy costoso, lo que puede llegar a ser poco o nada rentable. Conseguir entonces el objetivo marcado de disponibilidad con un costo determinado es generalmente suficiente.

La disponibilidad es un indicador que ofrece muchas posibilidades de cálculo y de interpretación. La definición de la fórmula de cálculo de la disponibilidad tendrá un papel vital para juzgar si el departamento de mantenimiento de cualquier instalación industrial está realizando su trabajo correctamente o es necesario introducir algún tipo de mejora.

Los principales factores a tener en cuenta en el cálculo de la disponibilidad son los siguientes:

- Cantidad de horas totales de producción.
- Cantidad de horas de indisponibilidad total para producir, que pueden ser debidas a diferentes tipos de actuaciones de mantenimiento:
- Intervenciones de mantenimiento programado que requieran parada de planta.
- Intervenciones de mantenimiento correctivo programado que requieran parada de planta o reducción de carga.
- ❖ Intervenciones de mantenimiento correctivo no programado que detienen la producción de forma inesperada y que por tanto tienen una incidencia en la planificación ya realizada de la producción de energía.
- Cantidad de horas de indisponibilidad parcial, es decir, número de horas que la planta está en disposición para producir, pero con una capacidad inferior a la nominal debido al estado deficiente de una parte de la instalación, que impide que ésta trabaje a plena carga.

En cuanto a los valores aceptables de disponibilidad, muchos tipos de instalaciones industriales, consiguen objetivos de disponibilidad superiores al 92% de forma sostenida (un

año o varios puede obtenerse, pero no de forma continuada), sin embargo, este es un objetivo bastante ambicioso. Las instalaciones industriales suelen buscar objetivos entre ese 92% y un 50%, en los casos menos exigentes en lo que se disponga de una capacidad de producción muy superior a lo que es capaz de absorber el mercado.

#### 1.2. Confiabilidad

La *confiabilidad* es un indicador que mide la capacidad de una planta para cumplir su plan de producción previsto. En una instalación industrial se refiere habitualmente al cumplimiento de la producción planificada, y comprometida en general con clientes internos o externos. El incumplimiento de este programa de carga puede llegar a acarrear penalizaciones económicas, y de ahí la importancia de medir este valor y tenerlo en cuenta a la hora de diseñar la gestión del mantenimiento de una instalación.

Los factores a tener en cuenta para el cálculo de este indicador son dos:

- Horas anuales de producción, tal y como se ha detallado en el objetivo de disponibilidad.
- Horas anuales de parada o reducción de carga debidas exclusivamente a mantenimiento correctivo no programado.

Como puede verse, no se tiene en cuenta para el cálculo de este objetivo ni las horas dedicadas a mantenimiento preventivo programado que supongan parada de planta ni las dedicadas a mantenimiento correctivo programado. Para un cálculo correcto y coherente de este factor debe definirse siempre cual es la distinción entre mantenimiento correctivo programado y no programado.

El objetivo de mantenimiento persigue que este parámetro esté siempre por encima de un valor establecido en el diseño técnico-económico de la planta, y su valor es habitualmente muy alto (igual o superior incluso al 99,0%). Una instalación bien gestionada no debería tener ningún problema para alcanzar este valor.

#### 1.3. Vida útil de la instalación

El tercer gran objetivo de mantenimiento es asegurar una larga vida útil para la instalación. Es decir, las plantas industriales deben presentar un estado de degradación acorde con lo planificado de manera que ni la disponibilidad ni la fiabilidad ni el coste de mantenimiento se vean fuera de sus objetivos fijados en un largo periodo de tiempo, normalmente acorde con el plazo de amortización de la planta.

La esperanza de vida útil para una instalación industrial típica se sitúa habitualmente entre los 20 y los 30 años, en los cuales las prestaciones de la planta y los objetivos de mantenimiento deben estar siempre dentro de unos valores prefijados.

Un mantenimiento mal gestionado, con una baja proporción de horas dedicadas a tareas preventivas, con bajo presupuesto, con falta de medios y de personal y basado en reparaciones provisionales provoca la degrada rápidamente cualquier instalación industrial.

Es característico de plantas mal gestionadas como a pesar de haber transcurrido poco tiempo desde su puesta en marcha inicial el aspecto visual no se corresponde con su juventud (en términos de vida útil).

## 1.4. Cumplimiento del presupuesto

Los objetivos de disponibilidad, fiabilidad y vida útil no pueden conseguirse a cualquier precio. El departamento de mantenimiento debe conseguir los objetivos marcados ajustando sus costes a lo establecido en el presupuesto anual de la planta.

Como se dijo anteriormente, este presupuesto debe ser calculado con sumo cuidado, ya que un presupuesto inferior a lo que la instalación requiere empeora irremediablemente los resultados de producción y hace disminuir la vida útil de la instalación, por otro lado, un presupuesto superior a lo que la instalación requiere empeora el balance económico de la empresa.

#### 1.5. Beneficios del mantenimiento industrial

Una empresa que no cuenta con los lineamientos correctos para implementar mantenimientos industriales con regularidad, puede poner en riesgo la vida de sus empleados, así como la integridad de las instalaciones y los equipos.

Las empresas invierten cada año grandes sumas de dinero en mantener sus operaciones en funcionamiento. El mantenimiento industrial es una garantía para evitar que las averías y daños retrasen la producción. Es por esto que el mantenimiento es una práctica obligatoria en cualquier empresa.

El futuro de las empresas se basa, en gran medida, en la calidad del mantenimiento industrial. Las empresas deben percatarse de la importancia de tener una visión a largo plazo, de esta forma deben planificar y programar el mantenimiento y reducir costos de repuestos y materiales.

Los beneficios de un mantenimiento industrial correcto son los siguientes:

- Previene posibles accidentes laborales que puedan ocurrir debidos a fallas y demás cuestiones.
- Disminuye pérdidas y costos por parada de la producción.
- Asegura tener una documentación de los mantenimientos necesarios para cada equipo e instalación.

- ❖ Permite llevar un control de inventario sobre los equipos utilizados en el proceso.
- Asegura que no se den daños irreparables en las instalaciones.
- Hace posible la correcta utilización del presupuesto de las empresas.
- ❖ Mantiene equipos e instalaciones en buenas condiciones a pesar del uso y el tiempo.
- Asegura y en algunos casos aumenta la vida útil de la maquinaria y demás equipos de la empresa.
- ❖ Mejora la calidad de la actividad, ya sea productos o servicios, de la empresa.
- Reduce los costos.
- ❖ Ayuda a cumplir con los tiempos de entrega de los productos.

El mantenimiento industrial trae consigo un beneficio legal, ya que muchas jurisdicciones tienen normativas y leyes que deben ser cumplidas por parte de las empresas y fábricas. Un mantenimiento correcto evita problemas legales para la empresa.

Uno de los beneficios más importantes que trae consigo la aplicación de un mantenimiento industrial correcto, es el factor económico, el riesgo de errores o averías se reduce considerablemente cuando este es aplicado, según las necesidades de cada industria. Es decir, el mantenimiento industrial nos da el beneficio de anticiparnos a las averías y evitar que se produzcan, o detectar y corregir fallas menores antes de que se conviertan en averías graves. De esta forma se extiende evidentemente la vida útil de los equipos e instalaciones, o al menos se garantiza la vida útil especificada, por lo tanto, aumenta a largo plazo la rentabilidad y las ganancias de la empresa. Claramente, con el mantenimiento industrial, un equipo se encuentra en condiciones óptimas lo que garantiza una buena calidad en el producto o servicio, lo que indudablemente significa una ventaja con respecto a competidores, lo que se traducirá en la preferencia del cliente en nuestra empresa y por lo tanto en un aumento de las ganancias.

De este modo, una inversión adecuada en el mantenimiento se verá reflejada en el funcionamiento de la empresa y por ende en sus ingresos. Como se dijo con anterioridad, aquellas empresas que no destinen el presupuesto adecuado al mantenimiento, inevitablemente fracasarán.

Otro indudable beneficio del mantenimiento industrial, es con respecto al personal que trabaja en la planta, ya que al asegurar el buen funcionamiento de los equipos e instalaciones que son utilizados por los trabajadores, se reduce considerablemente la probabilidad de ocurran fallas graves que puedan provocar accidentes a dichos trabajadores, en donde en el peor de los casos estas fallas podrían traer aparejada la muerte.

Esto también significa una confianza y tranquilidad por parte de los trabajadores, aumentando su comodidad y probablemente su eficiencia.

En algunos casos, el mantenimiento industrial sería beneficioso para la conservación del medio ambiente, ya que, por ejemplo, si a una planta petroquímica no se le realiza el correcto mantenimiento, sus equipos e instalaciones podrían fallar de tal manera que perjudiquen al ambiente. Otro ejemplo sería el caso de una plataforma petrolera en el mar.

# 1.6. Ejemplos de falta de mantenimiento o mantenimiento inadecuado en industrias.

## DESASTRE DE FLIXBOROUGH. FLIXBOROUGH, INGLATERRA. 1 DE JUNIO DE 1974.

En una tarde de sábado, el 1 de junio de 1974, la planta de la compañía inglesa Nypro en Flixborough, Inglaterra, sufrió una enorme explosión. La explosión, provocada por un escape de ciclohexano, causó la muerte de 28 trabajadores e hirió a 86.

Para entender las causas, los investigadores del accidente tuvieron que entender cambios que habían ocurrido en la planta varios meses antes. Hacia finales de marzo de ese año, se había descubierto una grieta en el reactor número 5, por la cual se fugaba ciclohexano. En ese momento se decidió sacar fuera de línea al reactor 5, conectando los reactores 4 y 6 entre sí mediante un bypass.

Esta nueva línea de bypass no cumplía con los requerimientos de presión de servicio. Eventualmente, el 1 de junio se fisuró, liberando grandes cantidades de ciclohexano caliente. El ciclohexano caliente no tardó en alcanzar el punto de inflamabilidad, provocando la explosión que prácticamente demolió el sitio.

Como el accidente ocurrió durante un fin de semana, no había muchas personas trabajando en el sitio. De los que había, 28 murieron (incluyendo todos los que estaban en la sala de control) y 36 resultaron heridos, junto con 50 heridos fuera de la planta. Los fuegos en la planta continuaron durante 10 días. Más de 2000 propiedades cercanas a la planta resultaron dañadas.

# 1.7. Variables del Mantenimiento

Para poder entender la forma de actuar del mantenimiento, es necesario analizar distintas variables de significación que repercuten en el diseño de los sistemas, tales como: Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad, Calidad, Seguridad, Costo y Tiempo. A continuación, se detallará cada una de estas variables antes mencionadas.

• *Fiabilidad*: es la probabilidad que las instalaciones, máquinas o equipos se desempeñen satisfactoriamente sin falla, durante un intervalo de tiempo determinado, bajo condiciones específicas.

- **Disponibilidad**: es la porción de tiempo durante el cual un sistema o equipo estuvo en condiciones de ser ocupado.
- Mantenibilidad: es la probabilidad de que una máquina, equipo o un sistema pueda ser reparado a una condición especificada en un período de tiempo dado, en tanto su mantenimiento sea realizado de acuerdo con ciertas metodologías y recursos determinados con anterioridad.
- **Seguridad**: está referida al personal, instalaciones, equipos, sistemas y máquinas, no puede ni debe dejársela a un costado.
- *Calidad*: de un producto o servicio es la percepción que el cliente tiene del mismo, es una fijación mental del consumidor que asume conformidad con dicho producto o servicio y la capacidad del mismo para satisfacer sus necesidades.
- *Costo*:es el valor monetario de los consumos de factores que supone el ejercicio de una actividad económica destinada a la producción de un bien, servicio o actividad.
- *Tiempo de entrega* y el *cumplimiento de los plazos previstos* son variables que tienen también su importancia en el mantenimiento.

## 1.8. ¿Por qué debemos gestionar el mantenimiento?

Si bien puede parecer más fácil y más barato acudir a reparar un equipo cuando se averíe y olvidarse de planes de mantenimiento, estudio de fallas, sistemas de organización, que incrementan notablemente la mano de obra indirecta, veamos porqué es necesario gestionar el mantenimiento:

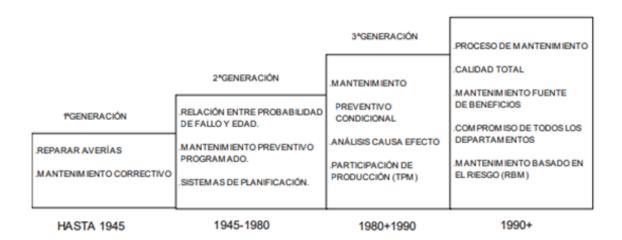
- ❖ Porque la competencia obliga a rebajar costes. Por tanto, es necesario optimizar el consumo de materiales y el empleo de mano de obra. Para ello es imprescindible estudiar el modelo de organización que mejor se adapta a las características de cada planta; es necesario también analizar la influencia que tiene cada uno de los equipos en los resultados de la empresa, de manera que dediquemos la mayor parte de los recursos a aquellos equipos que tienen una influencia mayor; es necesario, igualmente, estudiar el consumo y el stock de materiales que se emplean en mantenimiento; y es necesario aumentar la disponibilidad de los equipos, no hasta el máximo posible, sino hasta el punto en que la indisponibilidad no interfiera en el Plan de Producción.
- ❖ Porque han aparecido multitud de técnicas que es necesario analizar, para estudiar si su implantación supondría una mejora en los resultados de la empresa, y para estudiar también cómo desarrollarlas, en el caso de que pudieran ser de aplicación. Algunas de estas técnicas son: TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total), RCM (Reliability Centered Maintenance, Mantenimiento Centrado en Fiabilidad), Sistemas GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador),

- diversas técnicas de Mantenimiento Predictivo (Análisis vibracional, termografías, detección de fugas por ultrasonidos, análisis amperimétricos, etc.).
- Porque los departamentos necesitan estrategias, directrices a aplicar, que sean acordes con los objetivos planteados por la dirección.
- Porque la calidad, la seguridad, y las interrelaciones con el medio ambiente son aspectos que han tomado una extraordinaria importancia en la gestión industrial. Es necesario gestionar estos aspectos para incluirlos en las formas de trabajo de los departamentos de mantenimiento.

# 1.9. Evolución del concepto de Mantenimiento

A lo largo de la historia, el concepto de mantenimiento ha ido tomando diferentes formas y haciéndose cada vez más abarcativo:

- 1º Generación: La más larga, desde la revolución industrial hasta después de la 2º Guerra Mundial, aunque todavía impera en muchas industrias. El Mantenimiento se ocupa sólo de arreglar las averías.
- 2ª Generación: Entre la 2ª Guerra Mundial y finales de los años 70 se descubre la Técnicas de Mantenimiento Industrial 2 La Función Mantenimiento en la Empresa relación entre edad de los equipos y probabilidad de fallo. Se comienza a hacer sustituciones preventivas.
- 3ª Generación: Surge a principios de los años 80. Se empiezan a realizar estudios CAUSA-EFECTO para averiguar el origen de los problemas. Es el mantenimiento para actuar antes de que las consecuencias sean inadmisibles. Se comienza a hacer partícipe a Producción en las tareas de detección de fallos.
- 4ª Generación: Aparece en los primeros años 90. El Mantenimiento se contempla como una parte del concepto de Calidad Total: "Mediante una adecuada gestión del mantenimiento es posible aumentar la disponibilidad al tiempo que se reducen los costos. Se concibe el mantenimiento como un proceso de la empresa al que contribuyen también otros departamentos. Se identifica el mantenimiento como fuente de beneficios, frente al antiguo concepto de mantenimiento como "mal necesario". La posibilidad de que una máquina falle y las consecuencias asociadas para la empresa es un riesgo que hay que gestionar, teniendo como objetivo la disponibilidad necesaria en cada caso al mínimo coste.



## 1.10. Áreas de acción del mantenimiento

Se deducen las tareas de las que un servicio de mantenimiento, según el contexto, puede ser responsable:

- Mantenimiento de equipos.
- Realización de mejoras técnicas.
- Colaboración en las nuevas instalaciones: especificación, recepción y puesta en marcha.
- Recuperación y nacionalización de repuestos.
- Ayudas a fabricación (cambios de formato, proceso, etc.).
- Aprovisionamiento de útiles y herramientas, repuestos y servicios (subcontratación).
- Participar y Promover la mejora continua y la formación del personal.
- Mantener la seguridad de las instalaciones a un nivel de riesgo aceptable.
- Mantenimientos generales (Jardinería, limpiezas, vehículos, etc.).

#### Todo ello supone establecer:

La Política de Mantenimiento a aplicar

- Tipo de mantenimiento a efectuar.
- Nivel de prevención a aplicar.

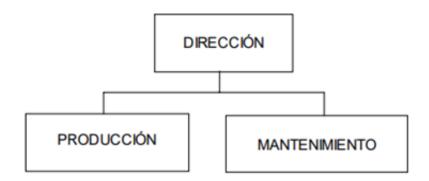
Los Recursos Humanos necesarios y su estructuración

- El Nivel de Subcontratación y tipos de trabajos a subcontratar.
- La Política de stocks de repuestos a aplicar.

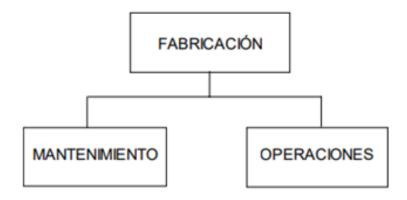
# 1.11. Organización del mantenimiento

#### a) Dependencia Jerárquica:

En cuanto a su dependencia jerárquica es posible encontrarnos con departamentos dependientes de la dirección y al mismo nivel que fabricación:



o, integrados en la producción para facilitar la comunicación, colaboración e integración:



#### b) Centralización/Descentralización

Nos referimos a la posibilidad de una estructura piramidal, con dependencia de una sola cabeza para toda la organización o, por el contrario, la existencia de diversos departamentos de mantenimiento establecidos por plantas productivas o cualquier otro criterio geográfico. Del análisis de las ventajas e inconvenientes de cada tipo de organización se deduce que la organización ideal es la "Centralización Jerárquica junto a una descentralización geográfica".

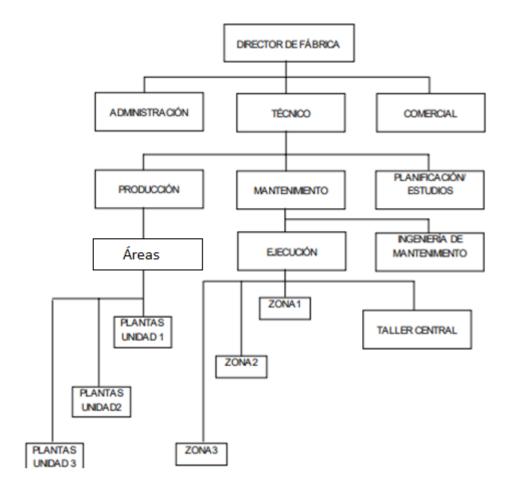
La Centralización Jerárquica proporciona las siguientes ventajas:

- Optimización de Medios.
- Mejor dominio de los Costos.
- Procedimientos Homogéneos.
- Seguimiento de Máquinas y Averías más homogéneo.
- Mejor Gestión del personal.

Mientras que la Descentralización Geográfica aportaría éstas otras ventajas:

- Delegación de responsabilidad a los Jefes de áreas.
- Mejora de relaciones con la producción.
- Más eficacia y rapidez en la ejecución de trabajos.
- Mejor comunicación e integración de equipos polivalentes.

De lo anterior se deduce un posible organigrama tipo:



Del que caben hacer los siguientes comentarios:

- 1. Producción y Mantenimiento deben estar al mismo nivel, para que la política de mantenimiento sea racional.
- 2. La importancia de los talleres de zonas, que aportan las siguientes ventajas:
  - equipo multidisciplinar
  - mejor coordinación y seguimiento del trabajo
  - facilita el intercambio de equipos
  - clarifica mejor las responsabilidades.
- 3. La necesidad de la unidad "ingeniería de mantenimiento", separada de la ejecución, permite atender el día a día sin descuidar la preparación de los trabajos futuros, analizar los resultados para conocer su evolución y, en definitiva, atender adecuadamente los aspectos de gestión sin la presión a que habitualmente se encuentran sometidos los responsables de ejecución.

# 2. <u>Niveles de Mantenimiento</u>

La lógica de mantenimiento considera distintos *niveles*, dependiendo de la *complejidad* o de la *función* del trabajo por hacer. Cada uno de esos niveles posee una importancia intrínseca, aunque se pasa al siguiente cuando las tareas del nivel anterior fallan o requieren la aplicación de intervenciones más complejas.

La decisión de realizar el mantenimiento a las máquinas que participan en el proceso de producción de cualquier empresa es parte importante de la estrategia que se construye para conservar los activos en óptimas condiciones. Para esto, las empresas deben conocer y aplicar los distintos niveles de mantenimiento que existen.

# 2.1. Niveles de Mantenimiento según la complejidad:

#### Primer Nivel

En el **primer nivel** de mantenimiento se identifican actividades catalogadas como esenciales para las operaciones de una empresa. Suelen considerarse operaciones simples, cuya ejecución requiere herramientas básicas. Incluso en muchas ocasiones ni siquiera son necesarias. El nivel de instrucción es mínimo o nulo y las tareas no implican ningún riesgo para el trabajador o la producción, es decir que dichas tareas no requieren el paro de la planta.

Aquí se trabaja con elementos integrados al equipo, los cuales son de fácil acceso y las operaciones pueden ser ejecutadas por su propio operador. Además, permiten una programación que incluya esas tareas dentro de las operaciones de rutina de la empresa.

En este nivel se incluyen las regulaciones, controles e inspecciones determinadas por el fabricante de los equipos. Además, el operario o la persona que va a realizar el mantenimiento cuenta con manuales de instrucciones para llevar a cabo dicha tarea.

El mismo equipo posee componentes preparados para estas revisiones, como indicadores de aceite y agua. Son componentes accesibles, de modo que no hace falta proceder a ningún desmontaje o cambio de elementos.

Entre las operaciones elementales se encuentran:

- Control y reemplazo de fluidos (aceite, combustible, líquido refrigerante)
- Sustitución de partes con vida útil corta o accesorios (baterías, pilas, cordones)
- Lubricación diaria.
- Reemplazo de lámparas luminosas.
- Control y limpieza de filtros

En resumen, este nivel de mantenimiento tiene las siguientes características:

- Operaciones simples.
- Mínimo o nulo nivel de instrucción.
- Sin riesgo para la producción o el operario.
- Se trabaja con elementos integrados al equipo

## Segundo Nivel

En el **segundo nivel** de mantenimiento, encontramos trabajos asociados a tareas que requieren ciertos procedimientos, aunque pueden ser considerados simples.

El nivel de instrucción exige una capacitación básica, pero no hay que confundir estas tareas con las realizadas en el primer nivel. La razón es que existe un nivel de complejidad superior, se trabaja con elementos integrados y externos al equipo, los procedimientos son algo más complejos y existe un riesgo potencial para el trabajador, por lo que se requiere mayor calificación y experiencia.

A partir de este nivel, se requiere al personal de mantenimiento del trabajo, no al operador del equipo en cuestión, ya que se necesita un mayor conocimiento de cómo funciona la máquina en la cual se va a trabajar.

Entre las operaciones elementales se encuentran:

- Control de parámetros de funcionamiento, usando herramientas integradas para medición-
- Controles de performance, regulaciones, reparaciones por intercambio estándar de componentes-

# **Tercer Nivel**

El **tercer nivel** de mantenimiento considera operaciones que requieren procedimientos más complejos y específicos. En particular, suelen considerarse operaciones correctivas simples.

Para llevar a cabo este tipo de trabajos, se necesita un nivel de instrucción alto, donde actúa personal técnico calificado, que se encarga de procedimientos con mayor detalle y que presentan un mayor riesgo tanto para la producción como para ellos mismos.

Se trabaja con elementos integrados y externos al equipo, con apoyo de instrucciones detalladas, y las tareas están relacionadas con la identificación y diagnóstico de fallas, reparación por cambio de componentes funcionales y reparaciones mecánicas menores.

Entre las operaciones elementales se encuentran:

- Regulaciones de carácter general.
- Control y ajustes que requieren herramientas de medición externas a la máquina.
- Operaciones de mantenimiento sistemático delicadas, reparaciones por intercambio de subconjuntos y componentes.

# \* Carto Nivel

El cuarto y penúltimo nivel de mantenimiento está reservado para trabajos complejos de índole correctiva o preventiva.

Está dedicado a operaciones cuyos procedimientos implican técnicas o tecnologías específicas, por lo que el nivel de instrucción es alto y se requiere también de un técnico o equipo con experiencia e instrucción de mantenimiento general o especial.

En este nivel existe un riesgo potencial para la producción y los técnicos involucrados y se trabaja con elementos integrados y externos al equipo. Al no ser rutinarias, estas operaciones de mantenimiento deben programarse de forma anticipada.

Entre las operaciones elementales se encuentran:

- Revisiones parciales o generales que no requieren el desmontaje completo de la máquina.
- Reparaciones especializadas.
- Verificación de aparatos de medición.

# Quinto Nivel

El último nivel de mantenimiento está reservado para aquellas tareas que demandan un saber-hacer específico, que considera técnicas, tecnología y procesos especiales.

Es el nivel más complejo, donde las tareas de tipo correctivo abordan trabajos de renovación y reconstrucción, entre otros, y donde hay mayor necesidad de contar con equipos de apoyo para que la intervención se produzca de manera exitosa.

Dada su naturaleza más compleja, los trabajos de mantenimiento del quinto nivel tienden a afectar el normal funcionamiento de una empresa, aunque sean acciones de carácter puntual realizadas por proveedores externos.

Todo esto implica que exista una programación anticipada y un nivel de instrucción especializado por parte de quienes realizan este tipo de tareas, ya que hay riesgo potencial, tanto para la producción como los técnicos involucrados.

Se trabaja con elementos integrados y externos al equipo, bajo la modalidad de asignación de tareas a empresas especializadas que realizan acciones de corrección sobre piezas que se tienen que cambiar o reparar a raíz de que se vuelven obsoletas o próximas a caducar.

Entre las operaciones elementales se encuentran:

- Revisiones generales con desmontaje completo de la máquina.
- Reacondicionamiento de equipos.

## 2.2. Niveles de Mantenimiento según la función:

También se pueden clasificar al mantenimiento en distintos niveles dependiendo de la **función** que dichas tareas ocupan dentro de la empresa. En este caso, existen sólo 4 niveles:

#### **❖** Nivel Instrumental:

El **nivel instrumental** comprende todos los elementos reales e intangibles necesarios para que exista un sistema de gestión y operación de mantenimiento en una empresa.

A este nivel pertenece la gestión de los recursos y la información. Por ejemplo, se incluyen todos los registros, documentos, ordenes de trabajo, procedimientos, equipos, repuestos, materias primas, insumos e incluso hasta los propios trabajadores y demás personas que influyen en el funcionamiento de la planta.

## **❖** Nivel Operacional:

En este nivel se agrupan todas aquellas acciones de mantenimiento que se pueden llevar a cabo por parte del departamento de mantenimiento en respuesta a solicitudes y necesidades de las condiciones de operación. Entre las acciones que podemos encontrar en este nivel tenemos acciones correctivas, modificativas, preventivas y predictivas.

#### **❖** Nivel Táctico:

El nivel táctico contempla el conjunto de acciones que se aplican a un caso específico (a un equipo o conjunto de ellos). Normalmente comprende todas las acciones de mantenimiento aplicadas para lograr un objetivo empresarial (mayor productividad, menor gasto, etc.).

Todas las acciones comprendidas en este nivel se suelen realizar siguiendo diferentes normas y reglas diseñadas para alcanzar dicho fin.

## **❖** Nivel Estratégico:

El nivel estratégico está formado por las metodologías que se aplican con el objetivo de evaluar qué tan eficaces son las tácticas implementadas en la empresa en el nivel 3 y qué beneficios generan en la compañía. Esto implica el establecimiento de índices, rendimientos e indicadores que permitan medir el caso particular de la empresa con otros de diferentes industrias locales, nacionales o internacionales. Es la guía que permite decir si se alcanzó el estado de éxito propuesto y deseado. Para medirlo se utiliza: el LCC(Life Cycle Cost), el CMD(índice de mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad), los costos, etc.

Según la antigüedad de la empresa y del departamento de mantenimiento es muy posible que no se lleguen a usar más de dos niveles. Sin embargo es importante que a largo plazo las empresas se planteen poder llevar el mantenimiento a los niveles tácticos y estratégicos para tener un mejoramiento continuo constante.

# 3. Tipos de Mantenimiento

En una empresa se pueden encontrar diferentes tipos de mantenimiento. Este concepto se basa generalmente en la revisión de los activos (instalaciones, herramientas y maquinaria) para velar siempre por su buen funcionamiento.

En el sector industrial, el estado de las instalaciones y de los equipos de trabajo es fundamental, no solo para que la producción se mantenga a un ritmo estable, sino también para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores.

Así, entendiendo el mantenimiento como un conjunto de actividades técnicas que permiten regular el funcionamiento normal de esos mismos equipos, podemos dividir los tipos de mantenimientos en tres grandes grupos:

# 3.1. antenimiento correctivo

Es el conjunto de actividades técnicas que se ejecutan después de producirse una avería y tienen como objetivo restaurar el activo a una condición en la que puede funcionar como deseado, ya sea por reparación o por sustitución del mismo.

El tiempo de reparación y la inactividad en la producción supone un coste económico para la empresa, por eso lo recomendable es que una compañía emplee recursos en la elaboración de un plan de mantenimiento para evitar este tipo acciones correctivas.

#### Ventajas

- Es ideal para equipos de baja prioridad, sin los cuales las operaciones de la empresa pueden seguir funcionando normalmente.
- Es ideal para equipos de bajo costo ya que el trabajo necesario para realizar su mantenimiento o supervisión constante puede resultar más caro que la reparación o sustitución en caso de avería. Un ejemplo sencillo sería un foco de luz, que puede usarse hasta que se funda y debe, en ese momento, sustituirse.
- No genera gastos fijos ya que solo se gasta dinero cuando está claro que se necesita hacerlo.

 No suele ser necesario programar ni prever ninguna actividad ya que este mantenimiento solo se aplica cuando se observan síntomas de mal funcionamiento.

#### Desventajas

- Cuando se confía en el mantenimiento correctivo para activos de prioridad media o alta y no se realiza ningún tipo de acciones preventivas, el tiempo de vida de los equipos terminará siendo más corto.
- Además esto conducirá a paradas inesperadas lo que perjudicaba la producción generando grandes pérdidas.
- Según el caso puede impedir el diagnóstico fiable de las causas que provocan la falla, ya que se desconoce si falló por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo, por desgaste natural, etc.
- Basar el mantenimiento en la corrección de fallos supone contar con técnicos muy cualificados, con un stock de repuestos importante, con medios técnicos muy variados.
- Los seguros de maquinaria suelen no afectar a equipos a los cuales no se les realizó un mantenimiento programado.
- Las averías y los comportamientos anormales no sólo ponen en riesgo la producción: también pueden suponer accidentes con riesgos para las personas o para el medio ambiente

# 3.2. antenimiento preventivo

Es el conjunto de actividades técnicas que tienen como objetivo la reducción de intervenciones correctivas. Estas tareas buscan intervenir en los puntos vulnerables de los equipos e instalaciones en el momento más oportuno para prevenir fallos, errores o averías en el funcionamiento de los equipos, instalaciones y herramientas.

Suelen tener un carácter sistemático, es decir, se interviene aunque los equipos, instalaciones y/o herramientas no hayan dado ningún síntoma de tener problemas.

El éxito del mantenimiento preventivo depende de la apropiada elección del tiempo de inspección ya que un lapso de tiempo excesivo puede resultar en la aparición de fallos entre dos inspecciones sucesivas , y por otro lado, un periodo poco prolongado eleva los costes de la producción.

Existen curvas que muestran la probabilidad de falla de un determinado equipo en función del tiempo. Al observar las curvas se pueden observar los períodos óptimos de inspección bien definidos donde se determinan las distintas acciones preventivas que se realizarán en el mantenimiento y la frecuencia con la que se realizarán los mismos.

### **❖** <u>Ventajas</u>

- Aumenta la vida útil del activo.
- Reduce el tiempo no operativo no planificado.
- Mayor control de los equipos reduciendo así los riesgos de que ocurra un accidente
- Carga de trabajo parejo para el personal de mantenimiento ya que se cuenta con la programación de las actividades.
- Produce menores costos a largo plazo si se aplica a equipos en los cuales la reparación de una avería puede resultar excesivamente costosa.

### Desventajas

- Pueden resultar ineficientes cuando se realizan acciones de mantenimiento (incluyendo sustitución de piezas) innecesarias y que cuestan tiempo y dinero.
- Requiere más planificación.
- Pueden requerir más subcontrataciones.
- No es rentable en equipos de bajo costo

# 3.3. antenimiento predictivo

Es el conjunto de actividades técnicas que se ejecutan después de producirse una avería y tienen como objetivo restaurar el activo a una condición en la que puede funcionar como deseado, ya sea por reparación o por sustitución del mismo.

Es el conjunto de actividades técnicas que consisten en la recopilación y la interpretación de datos estadísticos que permite a muchas empresas aplicar una estrategia de mantenimiento predictivo en sus equipos, instalaciones y herramientas.

Si el departamento de mantenimiento industrial detectara valores anómalos, procedería a realizar una revisión o el reemplazo de algún componente antes de que se produzca una avería.

Para esto es fundamental conocer permanentemente el estado y operatividad de los equipos, instalaciones y herramientas de interés mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables representativas de tal estado y operatividad.

El mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación. Por lo tanto es necesario identificar previamente las variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo.

Es el tipo de mantenimiento más tecnológico ya que requiere de medios técnicos avanzados, y en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos.

Las técnicas predictivas que habitualmente se emplean en la industrias son las siguientes:.

- Análisis de vibraciones, que es la más utilizada de las técnicas predictivas
- Boroscopias
- Termografías
- Análisis de aceites
- Control de espesores en equipos estáticos
- Inspecciones visuales
- Lectura de indicadores

#### Ventajas

- Reduce la posibilidad de tener que realizar un mantenimiento correctivo y elimina la necesidad de mantenimiento preventivo innecesario ya que se basa en la condición física u operativa de los activos en el momento del mantenimiento.
- Mayor seguridad de funcionamiento y operación de la maquinaria.
- En muchos casos permite la identificación prematura de defectos, sin la necesidad de parar o desmontar una máquina de forma innecesaria.
- Tiempo de reparación reducido ya que se tiene identificada la falla, además de tener anticipadamente las herramientas adecuadas para tal falla, lo cual reduce los costos.

## Desventajas

- Elevados costes de adquisición de equipos para detección de fallos, por lo tanto, no suele estar al alcance de pequeñas y medianas empresas.
- Personal especializado para análisis de datos.
- Limitación de aplicación para algunos tipos de fallas.
- No existe ningún parámetro que por sí solo sea capaz de reflejar el estado actual de la máquina.
- La mayoría de las veces no es viable la monitorización de todos los parámetros funcionales para toda la maquinaria.

## 3.4. Otros tipos de mantenimientos

A pesar de que las actividades de mantenimiento se pueden dividir en tres grandes grupos, en el ámbito laboral los departamentos de mantenimiento tienen en cuenta, además, los siguientes mantenimientos y consideraciones:

# • Mantenimiento Cero Horas (Overhaul)

Es el conjunto de actividades técnicas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva.

Dicha revisión consiste en dejar el equipo a "Cero horas" de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad, un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano.

### • Mantenimiento de Emergencia

No debemos confundir mantenimiento correctivo con mantenimiento de emergencia, ya que ocurren en diferentes fases de una avería.

El mantenimiento correctivo se realiza en un momento en que determinado daño físico o alteración en el funcionamiento normal del equipo es evidente, es decir cuando ocurre un fallo funcional.

El mantenimiento de emergencia ocurre después de una avería total del equipo, en consecuencia exige mantenimiento urgente y normalmente tiene costes más elevados que un fallo funcional.

**Otras consideraciones:** Se deben tener en cuenta dos consideraciones muy importantes que afectan a algunos equipos en particular.

En primer lugar, algunos equipos están sometidos a normativas legales que regulan su mantenimiento, obligando a que se realicen en ellos determinadas actividades con una periodicidad establecida.

En segundo lugar, algunas de las actividades de mantenimiento no podemos realizarlas con el equipo habitual de mantenimiento (sea propio o contratado) pues se requiere de conocimientos y/o medios específicos que solo están en manos del fabricante, distribuidor o de un especialista en el equipo.

Estos dos aspectos deben ser valorados cuando tratamos de determinar el modelo de mantenimiento que debemos aplicar a un equipo. Así surgen:

### Mantenimiento Legal

Algunos equipos están sometidos a normativas y/o a regulaciones por parte de la Administración. Sobre todo, son equipos que entrañan riesgos para las personas o para el entorno.

La administración exige la realización de una serie de tareas, pruebas e inspecciones específicas, que incluso algunas de ellas deben ser realizadas por empresas debidamente autorizadas para llevarlas a cabo.

Estas tareas se deben incorporar necesariamente al plan de mantenimiento del equipo.

### • Mantenimiento subcontratado a un especialista

Cuando hablamos de un especialista, nos referimos a un individuo o empresa especializada en un equipo concreto. El especialista puede ser el fabricante del equipo, el servicio técnico del importador, o una empresa que se ha especializado en un tipo concreto de intervenciones. Debemos recurrir al especialista cuando:

- > No tenemos conocimientos suficientes
- No tenemos los medios necesarios.
- > No tenemos el tiempo suficiente
- Externalización legal.

El mantenimiento subcontratado a un especialista es en general la alternativa más cara, pues la empresa que lo ofrece es consciente de que no compite. Los precios no son precios de mercado, sino precios de monopolio.

Debe tratar de evitarse en la medida de lo posible, por el encarecimiento y por la dependencia externa que supone.

#### 3.5. Modelos de mantenimiento

"¿Cuál es el mantenimiento que debe aplicarse a cada uno de los equipos que componen una planta concreta?"

Aquí nace la dificultad para encontrar una aplicación práctica a los tipos de mantenimiento.

Esta división de Tipos de Mantenimiento presenta un inconveniente. Para cada equipo, instalación o herramienta de interés se necesita una "mezcla" de cada uno de esos tipos, de manera que no podemos pensar en aplicar sólo uno de ellos a un equipo en particular.

Así, por ejemplo, en un motor determinado nos ocuparemos de su lubricación (mantenimiento preventivo periódico), si lo requiere, mediremos sus vibraciones o sus temperaturas (mantenimiento predictivo), quizás le hagamos una puesta a punto anual (mantenimiento cero horas) y repararemos las averías que vayan surgiendo (mantenimiento correctivo).

La mezcla más idónea de todos estos tipos de mantenimiento nos la dictarán estrictas razones ligadas al coste de las pérdidas de producción en una parada de ese equipo, al coste de reparación, al impacto ambiental, a la seguridad y a la calidad del producto o servicio, entre otras.

Por lo tanto, para dar respuesta a la pregunta introductoria, es conveniente definir el concepto de Modelo de Mantenimiento.

Un Modelo de Mantenimiento es la implementación de los tipos de mantenimiento en unas proporciones determinadas, y que responde adecuadamente a las necesidades de un equipo concreto.

Podemos pensar que cada equipo necesitará una mezcla distinta de los diferentes tipos de mantenimiento, una mezcla determinada de tareas, de manera que los modelos de mantenimiento posibles serán tantos como equipos puedan existir. Pero esto no es del todo correcto. Pueden identificarse claramente 4 modelos, complementadas con otros dos tipos de tareas adicionales: inspecciones visuales y lubricación.

Las inspecciones visuales prácticamente no cuestan dinero, nos permitirá detectar averías de manera rápida y su resolución generalmente será más barata cuanto antes detectemos el problema.

La lubricación, a pesar de presentar un costo por la obtención del lubricante y por la mano de obra para su aplicación, siempre será rentable ya que una avería por una falta de lubricación siempre implica un gasto mayor que la aplicación del lubricante correspondiente.

Así, desarrollaremos los modelos:

#### Modelo correctivo

Este modelo es el más básico. En este modelo se incluyen:

- > Inspecciones visuales
- > Lubricación
- > Reparación de averías que surjan

Para realizar una reparación debe presentarse algún fallo.

Este modelo de mantenimiento es aplicable a equipos con el más bajo nivel de criticidad, cuyas averías no suponen ningún problema, ni económico ni técnico. En este tipo de equipos no es rentable dedicar mayores recursos, ni esfuerzos.

#### Modelo condicional

En este modelo se incluyen:

- Inspecciones visuales
- ➤ Lubricación
- Realización de una serie de pruebas o ensayos, que condicionarán una actuación posterior.
- Reparación de averías que surjan

Para realizar la serie de pruebas o ensayos debe presentarse algún síntoma de fallo. Si tras las pruebas descubrimos una anomalía, programaremos una intervención; si por el contrario, todo es correcto, no actuaremos sobre el equipo.

Este modelo de mantenimiento es aplicable en aquellos equipos de poco uso y en aquellos equipos que, a pesar de ser importantes en el sistema productivo, su probabilidad de fallo es baja.

## • Modelo sistemático

Este modelo incluye un conjunto de tareas que realizaremos sin importarnos cuál es la condición del equipo:

> Inspecciones visuales

- > Lubricación
- ➤ Realización de mediciones y pruebas para decidir si realizamos otras tareas de mayor envergadura.
- > Reparación de averías que surjan.

Es un modelo de gran aplicación en equipos de disponibilidad media, de cierta importancia en el sistema productivo y cuyas averías causan algunos trastornos. Es importante señalar que un equipo sujeto a un modelo de mantenimiento sistemático no tiene por qué tener todas sus tareas con una periodicidad fija.

Un equipo con este modelo de mantenimiento puede tener tareas sistemáticas, que se realicen sin importar el tiempo que lleva funcionando o el estado de los elementos sobre los que se trabaja.

La principal diferencia con los dos modelos anteriores es que para realizar una tarea no debe presentarse algún síntoma de fallo.

## • <u>Modelo de alta disponibilidad</u>

Es el modelo más exigente y exhaustivo de todos.

Se aplica en aquellos equipos que bajo ningún concepto pueden sufrir una avería o un mal funcionamiento. A estos equipos se les exige unos niveles de disponibilidad altísimos, por encima del 90%. La razón de un nivel tan alto de disponibilidad es por el alto coste en producción que podría causarse por una avería. Con una exigencia tan alta, no hay tiempo para el mantenimiento que requiera parada del equipo (correctivo, preventivo sistemático)

Para mantener estos equipos es necesario emplear técnicas de mantenimiento predictivo. Este modelo incluye el siguiente conjunto de tareas:

- ➤ Inspecciones visuales
- Lubricación
- Realización de mediciones en tiempo real que nos permita conocer el estado del equipo con él en marcha.
- ➤ Revisión general completa o "Puesta a Cero": En esta revisión se sustituyen, en general, todas aquellas piezas sometidas a desgaste o con probabilidad de fallo a lo largo del año y se repara de forma permanente todas aquellas reparaciones provisionales que surgieron durante el año. Estas revisiones se preparan con gran antelación y generalmente se realizan con una frecuencia anual.
- > Reparación rápida provisional de averías.

Hay que tener en cuenta que el objetivo que se busca en este modelo es que no existan averías, ya que generalmente en estos equipos no hay tiempo para subsanar convenientemente las incidencias que ocurren, por lo tanto, generalmente termina siendo conveniente realizar reparaciones rápidas provisionales que permitan mantener el equipo en marcha hasta la próxima revisión general, solo se detendrá el equipo si produce algún un riesgo para la salud de los operarios.

# 4. Tipos de Fallas

### 4.1. Definición de falla

La norma ISO/IEC 2382-14:1997 define el término falla como: El cese de la habilidad de una "unidad funcional" de realizar una función requerida.

Es decir, una falla es un evento imprevisible que le ocurre a una o varias de las partes de un sistema que impide que estas cumplan su función bajo ciertas condiciones o que no las cumplan.

La función requerida de un elemento es la tarea para la que se diseñó y que debe cumplir para que el sistema funcione. Generalmente esta función requerida especifica un nivel de desempeño para asegurar el rendimiento del sistema. Una falla ocurre cuando la función requerida no puede ser realizada o el desempeño está fuera del rango especificado.

Al ocurrir una falla la máquina o sistema deja de brindarnos el servicio que debía darnos y aparecen efectos indeseables, esto es un problema que:

- Impide que la compañía o fábrica mantenga su nivel productivo.
- Provoca la degradación de otras partes del sistema.
- Pérdida de dinero para la compañía.

# 4.2. ¿Cómo se clasifican las fallas?

Existen muchas formas de clasificar las fallas por lo que mencionaremos las clasificaciones dispuestas por normas internacionales, las cuales también aplican en nuestro país.

## **4.2.1.** Norma IEC 61508

La Norma IEC 61508 clasifica las fallas según:

#### Causa:

#### Fallas aleatorias:

Ocurren en cualquier momento como resultado de la degradación de los componentes. Estas fallas se caracterizan por su tasa de ocurrencia:

Ej. Después de meses o años de golpes y mal uso de los botones de arranque/parada, estos empiezan a hacer mal contacto

#### Fallas sistemáticas:

Producidas por causas que solo pueden ser eliminadas modificando el diseño, el proceso de fabricación, los procesos de operación, la documentación u otros factores relevantes. Estas fallas se van a repetir siempre que se cumplan las condiciones que la dispararon (Muy común en fallas de software). Pueden aparecer en cualquier etapa del ciclo de vida y si se corrigen correctamente, en teoría no deberían volver a aparecer. Ej. El transformador se diseñó con refrigeración pasiva insuficiente, luego si la temperatura ambiente es mayor a 35° y el transformador está a plena carga este se va a sobrecalentar.

#### • Efecto:

#### Fallas Seguras:

Falla de un componente y/o máquina que al producirse dispara una respuesta de los sistemas de seguridad de la máquina o de la fábrica, sin comprometer el funcionamiento de estos. El sistema de seguridad (Un disyuntor, un interruptor térmico, el operador, la computadora, etc.) asegura que la máquina detenga su operación o la realice de una forma reducida y segura.

Una falla segura puede resultar en el frenado de la producción, pero no en una situación insegura para el operario o la maquinaria.

Ej. La bomba de refrigeración se detiene entonces el operador o la computadora pone la máguina en su mínima velocidad.

#### o Falla peligrosa:

Falla de un componente y/o máquina que impide el funcionamiento de un sistema de seguridad cuando este sea necesario o produce que actúe de manera errónea llevando la máquina a un estado peligroso o potencialmente peligroso.

Una falla peligrosa puede resultar en un accidente, pérdida de lo producido o daño a la maquinaria.

Ej. El sensor de inercia de un auto falla, luego ante una frenada brusca la computadora dispara los Airbags.

#### Detectabilidad:

#### o Falla detectada:

Falla que es inmediatamente evidente para el operador o el personal de mantenimiento en el momento que ocurre.

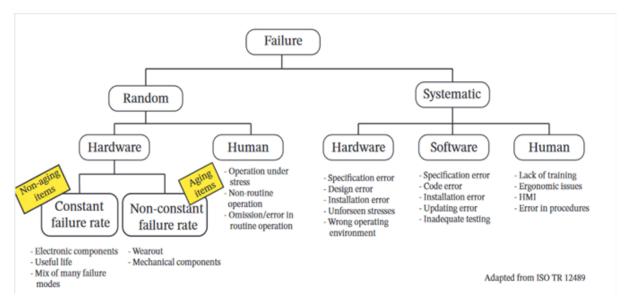
Ej. Un cortocircuito que dispara el interruptor termomagnético, el operador encuentra baja la perilla del interruptor.

#### Falla no detectada:

Falla que no es evidente de forma inmediata para el operador o el técnico. Se mantiene oculta hasta que se requiere que el componente cumpla su función.

## 4.2.2. Norma ISO/TR 12489

La norma ISO/TR 12489 clasifica las fallas de la misma forma y también las ordena jerárquicamente, según su fuente, como se muestra en la siguiente figura:



#### Fallas aleatorias

- Hardware (componentes, máquinas, sensores, etc.):
  - Tasa de falla constante: Componentes en su etapa intermedia de su ciclo de vida y componentes electrónicos.
  - Tasa de falla no constante: Componentes nuevos o en su etapa final del ciclo de vida y componentes mecánicos.
- Humanos: Debido al estrés del operador, operaciones no rutinarias, omisiones o errores al aplicar los procedimientos.

#### Fallas sistemáticas

- Hardware: Producidas por fallas de diseño, fallas de instalación, mal dimensionamiento, esfuerzos inesperados o un ambiente inadecuado.
- Software (programación de los controladores): Producidas por dimensionamiento inadecuado de controladores, errores de programación y pruebas inadecuadas.

 Humanos: Por falta de entrenamiento, errores en el manual de procedimiento, un puesto de trabajo incómodo o una mala interfaz hombre-máquina.

#### 4.2.3. Gravedad

Según la gravedad de la falla:

#### • Falla intermitente:

Es una falla sistemática y parcial, es decir una que produce cambios en las características de funcionamiento de la máquina, por lo que esta funciona fuera del nivel de desempeño especificado, no origina el paro del sistema y luego de que las condiciones que la dispararon cambian, esta desaparece.

#### • Falla Completa:

Es una falla aleatoria que al producirse impide el funcionamiento de la máquina o el sistema completo. Se caracterizan porque el tiempo y costo de reparación no son excesivos.

#### • Falla Catastrófica:

Una falla aleatoria completa donde el tiempo y el costo de reparación son muy altos.

## 4.3. Diagnóstico de fallas

En el diagnóstico de falla existen muchas herramientas que se utilizan para su desarrollo de acuerdo a su respectivo propósito e impacto, sin embargo, en esta investigación se tratarán solamente las 3 que son más utilizadas y conocidas, que se describen a continuación.

#### 4.3.1. Diagrama de Causa-Efecto

Un diagrama de Causa y Efecto es la representación de varios elementos (causas) de un sistema que pueden contribuir a un problema (efecto). Fue desarrollado en 1943 por el Profesor Kaoru Ishikawa en Tokio. Algunas veces es denominado Diagrama Ishikawa o Diagrama Espina de Pescado por su parecido con el esqueleto de un pescado.

En el servicio de mantenimiento, es una herramienta que ubica y esquematiza todas las causas potenciales que generan la falla o el defecto específico, para posteriormente establecer planes para el control y eliminación. Su utilización es práctica, sencilla, grupal y muy aplicada en todo el mundo.

La elaboración de un diagrama de Ishikawa gira en torno a una lluvia de ideas, generadas por las personas vinculadas de cerca al problema que es objeto de estudio, normalmente ignorando si son causas responsables o no. Estas ideas pueden estar en conflicto o fallar al expresar la causa principal.

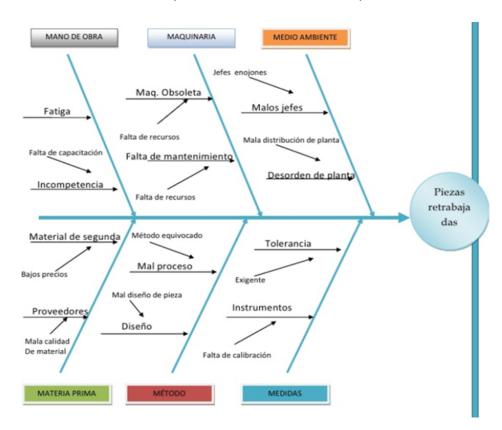
A continuación, unos pasos a seguir para realizar el diagrama:

- Definir y escribir el problema, situación o evento que se desea analizar. Escribir y luego dibujar un círculo alrededor de él, esta será la cabeza del pescado. Redactar el problema en términos del efecto que se presenta en la situación de análisis. Hecho esto, trazar una recta (la espina central) por el lado izquierdo del círculo.
- Analizar el problema desde cada una de las espinas mayores. Por ejemplo, en caso de analizar las medidas nos preguntamos, ¿por qué se presentaría «menciona el problema «en las medidas? Trazar una línea desde la espina mayor y colocar la respuesta. Este es el segundo nivel de causas.
- Analizar el problema desde el segundo nivel de causas: Tomar la respuesta del interrogante anterior y hacer el mismo procedimiento con respecto al problema central. Trazar una línea desde el segundo nivel de causas y colocar la respuesta. Este es el tercer nivel de causas con respecto a las medidas.
- Continuar profundizando en las causas según sea necesario: Profundizar en las causas tanto como te permita el problema.
- Completar las otras causas probables: Lo explicado en los pasos 2,3 y 4 fue sólo para una causa mayor, si leemos el paso 2 veremos que hablamos de las medidas. Realizar el mismo procedimiento según tantas causas mayores sean identificadas.
- Finalizando el diagrama, analizar las causas obtenidas y determinar en cuáles se va a actuar: Del gran número de causas, por votación o consenso definir cuáles son las causas principales y cuáles van a ser intervenidas. Aquí se consideran factores como el número de veces que se presenta la causa, el impacto sobre el problema central, el costo, tiempo y esfuerzo que se requeriría para su solución.

Un ejemplo de diagrama de causa-efecto es el método de las 6m, que consiste en analizar los siguientes 6 niveles secundarios:

- Mano de obra: Consideramos todos los aspectos asociados a la gente, al personal, a la mano de obra.
- Maquinaria: Hablar de maquinaria es hablar de infraestructura. Es hablar de todas las herramientas con las que contamos para dar salida al producto final. Software, hardware, máquinas de fabricación, montacargas, etc.
- Métodos: Evaluamos la forma en la que hacemos las cosas. Así pues, al evaluar los métodos, estamos evaluando si la forma en que desarrollamos las actividades está significando resultados, así pues, tratamos de buscar la falla en el hacer de las cosas que ocasiona el problema. Simplemente es la forma en cómo producimos independiente de los trabajadores implicados.

- Medición: Aquí recae todo lo que hacemos en torno a la inspección, las diferentes medidas con que se trabajan, el aseguramiento de la calidad, calibración, tamaño de muestra, error de medición, etc.
- Materia prima: Evaluamos todo lo que tenga que ver con los materiales en la empresa, desde los que se usan para dar el producto final hasta los que se usan para hacer el aseo al baño.
- **Medio ambiente:** El medio ambiente son las condiciones, del entorno con el que se trabaja. Cultura organizacional, clima organizacional, luz, calefacción, ruido, nieve... son aspectos del medio ambiente que se tienen en cuenta.



# 4.3.2. <u>Técnica de los 5 porqués</u>

Es una técnica de resolución de problemas que nos ayuda a alcanzar rápidamente la raíz de un problema.

Consiste en empezar por el efecto final y trabajar hacia atrás preguntando continuamente: "¿por qué?". Necesitaremos repetir este proceso continuamente hasta que la causa raíz del problema resulte aparente. Si no nos da rápidamente una respuesta que sea correcta, entonces es posible que necesitemos utilizar una técnica de resolución de problemas.

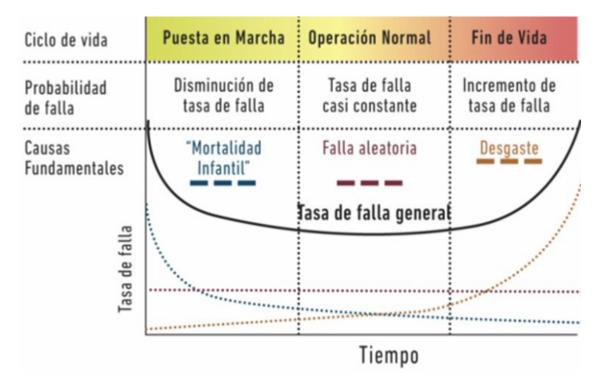
Puede ser utilizado como parte del diagrama causa-efecto una vez establecidas las causas principales.

## 4.3.3. Curva de la bañera

La curva de la bañera es una gráfica que expresa la probabilidad de que un determinado activo falle a lo largo del tiempo y nos permite distinguir claramente tres fases distintas en el ciclo de vida del activo.

Comprender la curva de la bañera nos permite:

- Determinar la vida útil de un activo, su fiabilidad y mantenerlo bajo control
- Poder planificar mejor cómo y cuándo realizar el mantenimiento con el objetivo de prolongar la vida útil del activo y aumentar su disponibilidad sin un mantenimiento innecesario.



## **Etapas del activo**

En la vida útil del activo encontramos tres momentos o períodos:

## **Etapa 1: Mortalidad Infantil**

Al principio de la vida del activo, en su "infancia", la tasa de fallos es alta, pero evoluciona en sentido descendente, con una pendiente negativa. Este es el período conocido como zona de mortalidad infantil.

En esta fase, los fallos se deben a fallos sistemáticos de hardware, software o humanos

Para reducir esta zona hay varias estrategias:

- **Depuración**: Pruebas preliminares con tecnologías automáticas y sensores. El equipo defectuoso se desecha o se repara antes de salir de fábrica.
- **Pruebas de aceptación y fiabilidad:** Reevaluaciones del equipo siempre que haya un cambio de piezas, cambios en el diseño, en las herramientas o procesos, entre otros cambios.
- **Control de calidad**: Técnicas de detección temprana de fallos, como el análisis de vibraciones, para detectar problemas.
- Pruebas aceleradas y pruebas de burn-in: Consisten en someter al equipo a las mismas o más exigentes condiciones que las normales, para observar su comportamiento en estrés o para medir los resultados obtenidos en un tiempo determinado.

En el caso de estos activos jóvenes, lo mejor es adoptar un mantenimiento correctivo, ya que es la única solución para que el fallo no se repita.

## **Etapa 2: Vida útil del activo**

A estas alturas, el activo ya es «maduro». La tasa de fallos se estabiliza porque todos saben ya cómo manejar el equipo y se corrigen los errores de fabricación. Este paso se conoce como vida útil del activo.

Durante la vida útil del activo, los fallos son aleatorios de hardware, software o humanos y se producen debido a errores humanos, fallos naturales, uso excesivo o sobrecarga y daños accidentales.

Durante la vida útil del activo, recomendamos que siga las recomendaciones del fabricante para las revisiones periódicas. La mejor estrategia de mantenimiento para un activo maduro es el mantenimiento preventivo, o, si la operación está preparada para ello, el mantenimiento predictivo, con el fin de predecir cuándo se producirá una inflexión de la curva y se entrará en la fase 3.

## **Etapa 3: Desgaste v envejecimiento**

A estas alturas, el activo ya es «viejo». La tasa de fallos aumenta progresivamente y el gráfico de la curva de la bañera tiene una pendiente positiva. Corresponde a la fase de desgaste o envejecimiento. No todos los activos llegan necesariamente a este fin, porque algunos dejan de utilizarse antes de desgastarse (por ejemplo, los aparatos electrónicos que fueron sustituidos cuando la tecnología quedó obsoleta, a pesar de que todavía están en pleno funcionamiento).

En esta etapa, los fallos se deben al desgaste progresivo de los componentes, a un mantenimiento deficiente o a revisiones incorrectas. Las reparaciones son cada vez más costosas y los riesgos de seguridad son cada vez mayores.

En esta etapa del ciclo de vida del activo, el mejor mantenimiento es el preventivo, que es el más eficaz para mantener la seguridad del activo y prolongar su vida útil. Lo ideal sería que se adoptaran nuevas medidas de mantenimiento preventivo en cuanto se observa un aumento de la tasa de fallos, para evitar un incremento brusco y mantener la tasa constante de fallos cercana a la que se tenía en la fase 2.

# Referencias de Tipos de Fallas:

Analisis de fallas. (2017, 25 marzo). Mantenimiento Industrial de equipos. https://mantenimientoindustrialdeequipos.blogspot.com/p/blog-page 1.html

Betancourt, D. (2019, 6 diciembre). Diagrama de causa y efecto como herramienta de calidad. Ingenio Empresa. https://www.ingenioempresa.com/diagrama-causa-efecto/

La curva de la bañera: Cómo adaptar el mantenimiento al ciclo de vida de los activos. (2020, 26 noviembre). Infraspeak Blog. https://blog.infraspeak.com/es/la-curva-de-la-banera/

Dennysmar, A. (2016, febrero). Fallas definición, análisis del sistema parcial, intermitente completos o instantáneos y catastróficos. Parámetros fundamentales (variabilidad, disponibilidad y efectibilidad del sistema) (TFM). U. Politecnica T. Anzoategui. https://www.academia.edu/25509857/Fallas definici%C3%B3n

Diagrama de causa y efecto. (s. f.). CyTA. Recuperado 24 de junio de 2021, de http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/herramientas\_calidad/causaefecto.htm

Lundteigen, M. A., & Rausand, M. (2018, 2 mayo). Chapter 3.failures and failure classification [Diapositivas]. NTNU. https://folk.ntnu.no/lundteig/Presentations/SIS-book/chapt3-1.pdf

Mancuzo, G. (2021, 16 marzo). Fallas en el mantenimiento | definición y análisis. ComparaSoftware Blog. https://blog.comparasoftware.com/fallas-en-el-mantenimiento/

Soluciones, V. (2020, 6 agosto). ¿COMO SE CLASIFICAN LOS TIPOS DE FALLAS EN MANTENIMIENTO? Valbor Soluciones. https://www.valborsoluciones.com/mantenimiento/como-se-clasifican-las-fallas/

# Gestión Del Mantenimiento Asistida Por Ordenador

El avance tecnológico ha mejorado notablemente las tareas administrativas y de gestión de datos y recursos a gran escala. Vamos a tratar el caso de los softwares aplicados a la gestión del mantenimiento.

Una posible definición de GMAO (Gestión del Mantenimiento Asistida por Ordenador) sería: "software para facilitar la gestión del mantenimiento de activos de una organización, principalmente activos físicos, aunque pueden no serlo".

La filosofía de estos sistemas es poner en el centro del mantenimiento los "activos" o equipos, alrededor de los cuales estará vinculado todo lo que le afecta (documentos técnicos, órdenes de trabajo, planes de mantenimiento, recambios/repuestos, costes, etc).

Estas herramientas permiten al departamento de mantenimiento realizar una correcta gestión de sus activos y todo lo relacionado a ellos, tales como tareas y actividades de mantenimiento, costes, inventario de repuestos, recursos humanos internos, subcontratos, etc. Se puede decir que su fin es optimizar los pasos y procesos de mantenimiento de las industrias.

Hoy en día se encuentran muchos softwares GMAO en el mercado y, aunque entre ellos hay diferencias principalmente en la interacción con el usuario, también hay diferencias en cuanto a las funcionalidades disponibles.

La mayoría de este tipo de softwares cuenta con 3 módulos principales con funciones básicas para su gestión:

- Módulo de mantenimiento.
- Módulo de inventario.
- Módulo de compras.

Podría usarse sólo el módulo de mantenimiento con las ventajas que proporcionan sus respectivas funciones. Sin embargo, para poder disponer de datos financieros reales del mantenimiento es altamente recomendable implementar los 3 módulos e integrarlos con el resto de los sistemas ya existentes

Cada uno de los módulos enumerados dispone de una serie de funcionalidades. Dependiendo del software elegido dispondrá de mayor o menor número de funcionalidades, así como de mayor o menor capacidad de integración con otras soluciones.

## 5.1. Funcionalidades Básicas

Las funcionalidades básicas con las que la mayoría de soluciones GMAO cuentan son:

- Gestión de activos y su correspondiente jerarquía.
- Planificación y programación de los mantenimientos preventivos.
- Gestión de los mantenimientos correctivos derivados de averías o incidencias.
- Control de los stocks de repuestos y recambios.
- Gestión de compras de material MRO (Mantenimiento, Reparación y Operaciones).
- Gestión de recursos humanos internos.
- Gestión de subcontratos.
- Gestión de solicitudes y órdenes de trabajo.
- Control de los costes asociados al mantenimiento.
- Gestión del cumplimiento normativo en seguridad.

## 5.2. Módulos de GMAO

#### Módulo de mantenimiento

Es el módulo principal de un sistema GMAO y entorno al cual giran el resto de los módulos y funcionalidades del sistema. En este módulo es donde se realiza la gestión de activos y la gestión de los mantenimientos preventivos y correctivos, entre otras funcionalidades.

En una organización con un elevado número de activos es de vital importancia gestionar correctamente el programa de mantenimientos preventivos con tal de evitar someter el sector productivo a paros de actividad ocasionados por una avería que puede ser evitada con un mantenimiento preventivo. Un GMAO ayuda al departamento de mantenimiento a planificar la periodicidad de dichos mantenimientos preventivos y, una vez programado, automatiza la creación de las órdenes de trabajo (Work Orders o simplemente WO) asociadas a estos mantenimientos.

La integración de los datos extraídos de los activos con un sistema GMAO permite realizar un mantenimiento basado en condiciones, el cual lanzará automáticamente solicitudes de trabajo u órdenes de trabajo según el estado actual de los equipos. Esto permite realizar mantenimientos preventivos y/o correctivos basados en los datos de

campo, así como proporciona capacidades analíticas predictivas para anticiparse al fallo de los equipos.

Por otro lado, es igual de importante el gestionar correctamente los activos de la organización. La gestión de activos permite realizar un seguimiento de los datos generados por las actividades de mantenimiento realizadas, así como los metadatos asociados a los activos. Entre estos datos podemos encontrar: fechas de compra, garantías, características del activo, estadísticas del activo, documentación del activo y multitud de datos más. No obstante, los datos más importantes y poderosos que gestiona un GMAO son los datos de historial de un activo.

El historial de un activo es el registro de las diferentes actuaciones de mantenimiento realizadas sobre el activo en concreto. Esta información es muy útil para el departamento de mantenimiento para su posterior análisis y extracción de información para sacar conclusiones y tomar decisiones. Por ejemplo, estudiando dichos datos se puede determinar patrones de fallo y modificar la planificación de los mantenimientos preventivos en base a ello.

#### Módulo de inventario

La implementación de dicho módulo permite al departamento de mantenimiento asociar los repuestos y materiales necesarios según el tipo de trabajo a realizar. A su vez, el sistema GMAO realizará un control del stock mínimo de los repuestos y materiales para asegurar que estos estén disponibles y en caso de necesidad de compra, enviar una notificación o realizar la compra automáticamente (función realizada por el módulo de compras). De esta manera, se evita encontrarse en la situación de tener que realizar un mantenimiento de un activo y no disponer del material necesario para su ejecución, lo cual puede provocar un paro de actividad en la producción prolongado, costoso e innecesario.

#### Módulo de compras

El módulo de compras es el que proporciona funcionalidades para realizar todas las tareas administrativas relacionadas con el departamento de compras de una empresa.

En dicho módulo se realizará de manera automatizada toda la gestión de reposición de materiales y repuestos para asegurar el stock mínimo necesario, así como la adquisición puntual de material extraordinario. Esta gestión incluye desde la petición de presupuestos y envío de pedidos hasta la recepción de facturas.

# 5.3. Beneficios de implantar un GMAO

Para una organización pequeña con pocos activos se puede llevar la gestión del mantenimiento mediante métodos que van desde simples listados de equipos, materiales

utilizados y mantenimientos realizados, hasta hojas de cálculo o bases de datos creadas por uno mismo.

Sin embargo, en organizaciones medianas y grandes trabajar de esa forma puede convertirse en un arduo trabajo, al mismo tiempo que se consume una notablemente mayor cantidad de tiempo y se ve limitada a la hora de aprovechar al máximo los datos.

Es aquí cuando nos vemos en la necesidad de utilizar un GMAO.

La implantación de un GMAO proporciona los siguientes beneficios entre otros:

- Reducción de los costes de gestión de mantenimiento.
- Aumentar la eficiencia laboral.
- Adecuada gestión de la documentación.
- Estandarización y homogenización de las tareas de mantenimiento.
- Gestión de inventarios y compras automatizada.
- Disminución de los mantenimientos correctivos.
- Control de la gestión del tiempo de los técnicos de campo.
- Mayor control de costes.
- Capacidad de análisis de datos de gestión para mejorar los planes de mantenimiento.
- Optimizar la toma de decisión tras análisis de datos.
- Identificar las causas de las averías.

Es por esto que es altamente recomendable utilizar un sistema integrado para gestionar el mantenimiento (GMAO) en organizaciones medianas y grandes.

# 5.4. Implantación de un GMAO

Una consideración importante es el hecho de que se instale un sistema de gestión informatizada del mantenimiento o GMAO conjuntamente con la elaboración de un plan de mantenimiento de una línea o instalación nueva, dado que la gran cantidad de trabajo administrativo que va a suponer el realizar desde cero un nuevo plan de mantenimiento puede incorporarse directamente sobre la base de datos.

Este momento es especialmente adecuado porque:

• Se van a generar nuevas fichas para las tareas de los diferentes planes de mantenimiento. Cuesta lo mismo realizar esta tarea directamente de la forma que se

venía realizando hasta ahora, mediante fichas en papel, que emplear ese mismo tiempo en ser introducido en la solución GMAO desarrollada.

• Este proceso va a servir para revisar el inventario de partes y componentes de la línea, lo que también puede traspasarse al sistema.

El hecho de limitar el alcance de la implantación a una línea de prueba, facilita el seguimiento de los diferentes ajustes en la forma de trabajar que haya que realizar para adaptarse a la utilización del GMAO. Posteriormente existirá la posibilidad de incorporar más secciones de la planta.

Hay que destacar la conveniencia de implantar un software GMAO junto al desarrollo de un nuevo plan de mantenimiento debido a todo el trabajo que se podrá ahorrar al hacerlo de forma conjunta.

#### 5.5. Perfil del Usuario

El usuario del sistema de gestión GMAO será una persona con formación técnica, probablemente de la rama de conocimientos ligados a la actividad de la empresa (ingenieros industriales, químicos, etc.) con un perfil de conocimiento que se podría considerar de usuario avanzado, aunque sin la necesidad excluyente de tener conocimientos de programación.

Este nivel le permite trabajar cómodamente con las soluciones ofimáticas más comunes y manejar la información contenida en el software GMAO, poseyendo la capacidad de generar sus propios análisis y reportes, además de los que por defecto traiga la aplicación de manera automática.

## 5.6. Factores a considerar en la elección de un GMAO

Cuando buscamos un software de mantenimiento buscamos hacer una "gestión del futuro", conocer qué mantenimiento programado vamos a necesitar en nuestra instalación antes de que suceda la avería, o después de la misma, lo que es lo mismo, mantenimiento preventivo programado o mantenimiento correctivo programado con el fin de planificarnos en el trabajo a realizar para sacar el mejor partido a los recursos que tenemos, sobre todo a nuestro personal pero también dar respuesta al sector de producción en cuanto a cuándo parar las máquinas, cuándo ponerlas en servicio nuevamente y cuándo comprometerse con los clientes.

Como se dijo anteriormente, si tenemos pocos clientes, podemos llevar todo en métodos de almacenamiento de datos sencillos tales como planillas en papel o de Excel. Si tenemos muchos clientes a los que brindarles servicio, muchos sistemas y subsistemas, en cambio, ya no será fácil hacerlo en papel o en Excel, necesitaremos un software de mantenimiento para saber qué ocurre en la instalación, el estado de las máquinas y del

personal, la gestión de los repuestos, averías para conocer lo sucedido incluso hasta por temas legales, al proporcionar información solicitada por un inspector buscando si las intervenciones debidas fueron realizadas o no.

Tenemos herramientas informáticas de sobra para trabajar en todo esto de manera rápida, útil y sencilla.

A la hora de organizar el mantenimiento programado, los softwares de GMAO pueden adaptar la tarea a quehaceres similares y prepararnos un plan de mantenimiento con las debidas instrucciones a seguir, proyectadas para equipos similares.

# Factores tecnológicos

Estos factores hacen referencia a su nivel de cumplimiento con las características y capacidades que deben exigirse a cualquier software que vaya a ser usado en una compañía.

# **Compatibilidad**

Es la facilidad del software para integrarse con los sistemas usados por la organización (hardware y bases de datos) y para comunicarse con el resto de programas. Para las empresas de gran tamaño, es una exigencia la compatibilidad con los software ERP\* (SAP y similares) así como su integración en bases de datos Oracle o similares.

\* Softwares ERP: (Enterprise Resource Planning): "Sistema de planificación de recursos empresariales". Son sistemas a cargo de distintas operaciones internas de una empresa, desde producción a distribución o incluso recursos humanos.

#### **Flexibilidad**

El programa escogido debe ser lo suficientemente flexible para recoger las particularidades de este entorno de producción, bien sea mediante la parametrización del mismo o mediante la realización de modificaciones en el código si fuera necesario.

#### Escalabilidad

Es la capacidad de un software de aumentar su capacidad para atender una demanda creciente. Dado que su uso posteriormente será ampliado al resto de la fábrica, y en previsión del crecimiento de esta, el software debe ser capaz de resistir un gran número de usuarios simultáneos.

#### Factores de mantenimiento

Se refiere a las funcionalidades que debe cumplir un GMAO en una organización.

## Gestión del parque de maquinaria instalada

Para poder tener inventariado dentro del sistema todos los bienes y equipos que deben ser mantenidos, con su correspondiente escandallo (determinación del precio de coste o de venta de una mercancía con relación a los factores que lo integran) de piezas y componentes.

#### Planificación de las intervenciones

Para asignar tareas en fechas y a los recursos disponibles es importante poder adjuntar documentación propia con la emisión de las órdenes de trabajo.

# Reporte de la intervención

Con el fin de realimentar el sistema de análisis con la información obtenida.

#### Gestión de recursos humanos

Asignación de personal a las diferentes tareas y control del personal interno y externo.

#### Análisis de las actividades

Permitir el análisis de las tareas realizadas en cada máquina y la creación de reportes personalizados.

# Gestión de partes y sugerencias de mejora

Con el fin de retroalimentar todo el proceso de gestión de la información en lo que al mantenimiento concierne, se dispone de un sencillo sistema basado en partes y hojas de sugerencias de mejora, que permiten hacer un seguimiento de las incidencias sucedidas en planta, o solicitar por parte de los operarios acciones de mejora. Todas las acciones de mejora, están amparadas por la normativa ISO 9001 que está implantada en la empresa, por lo que su circuito de seguimiento se incluye generalmente dentro del sistema de gestión de calidad. Por este motivo será el responsable de la gestión de la calidad quien se encargue de documentar todo el proceso, aunque sea finalmente el departamento de mantenimiento quien se encargue de la ejecución propiamente dicha.

# 5.7. Toma de requerimientos funcionales del GMAO

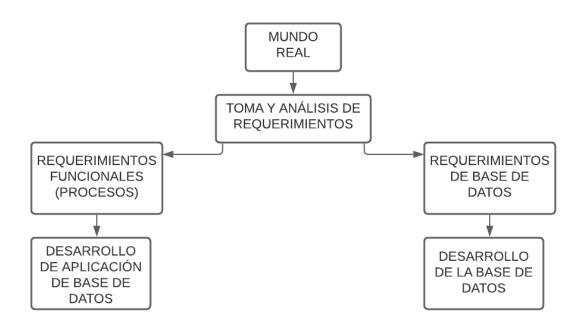
El objetivo en el desarrollo de una aplicación de base de datos es la de generar una aplicación que satisfaga los requerimientos funcionales o de procesos que necesita una organización.

Una organización que tenga necesidades y requerimientos cuyo propósito sea realizar las tareas de gestión del mantenimiento a través de una aplicación GMAO de una forma más eficiente con entre otros propósitos el de cumplir la norma ISO 9001.

En la fase inicial de recaudar información del "mundo real" de la organización, llamada fase de toma y análisis de requerimientos, se reúnen dos tipos de información, cuyos propósitos se encuentran bien diferenciados:

- A partir de la toma y análisis de información y requerimientos, generar una base de datos que almacene de una forma eficiente las estructuras de datos de la organización.
- Extraer de la fase de toma y análisis de requerimientos aquellos requerimientos funcionales o de procesos de la organización que debe cumplir la aplicación que trabaje con la base de datos.

En la fase de toma y análisis de requerimientos existen una serie de flujos de entrada y salida de información y datos tal como se puede ver en la siguiente figura.



# 5.8. Gestión de Equipos e Instalaciones

#### Centros de coste

Como norma general los departamentos de contabilidad de las empresas tienen establecidos unos centros de coste donde imputar los gastos derivados de la realización de cierta actividad.

- Líneas: En esta sección se definen las líneas o instalaciones que componen la planta, industria o conjunto a mantener. Se les asigna un código, un nombre, una zona de ubicación, así como algunas características que la definen. Esto sirve para facilitar el seguimiento de los costes de mantenimiento generados por cada unidad productiva, de forma separada.
- Equipos: Los diferentes equipos que componen el parque a mantener. En caso de existir diferentes equipos iguales, se tratan de forma diferenciada, generando para cada uno de ellos su conjunto de tareas de mantenimiento específico.
- Gestión de recambios: Acceso a la base de datos de todas las referencias de materiales que componen el conjunto de repuestos, con sus precios, proveedores, cantidades, control de stock mínimo, y tiempo de reabastecimiento.

#### Gestión de costes

Se realizará de forma conjunta con las Work Orders ya que será en el cierre de estas donde se realizarán las imputaciones correspondientes (materiales, mano de obra y coste asociado a los recambios usados) que permitirán la supervisión de los costes generados.

## Consulta y análisis del histórico

- Gestión de conocimiento: En muchas ocasiones, en la gestión del mantenimiento se pierde más tiempo tratando de diagnosticar las averías, o tratando de identificar que parámetro del equipo está provocando una anomalía, que resolviéndolo propiamente. Para estas ocasiones es de mucha utilidad disponer de un registro de la solución empleada o de cuál era la causa, de forma que, si el problema surge de nuevo más adelante, sea posible "hacer memoria" buscando entre las anotaciones anteriores cuál es la solución.
- Listados y consultas: Al estar basado en Access, la aplicación desarrollada permite al usuario, o bien utilizar alguno de los reportes o consultas ya pre configurados, o bien (a través del propio Access) desarrollar los que sean de su propio interés, que podrán ser vistos y ejecutados desde el programa de GMAO.

# 5.9. Gestión del Mantenimiento (Predictivo, Preventivo y Correctivo)

A continuación, se describen los elementos que participan en la gestión del mantenimiento dentro de la solución GMAO.

• Operaciones: Las acciones constituyen las unidades más simples del trabajo a realizar. Una acción puede ser genérica y aplicar a diferentes tareas/equipos o puede

ser sólo necesaria en un determinado equipo. Las acciones se presentan al usuario cómo un catálogo que el usuario puede seleccionar al configurar una tarea de mantenimiento sobre un equipo concreto.

- Gamas: En terminología de mantenimiento las gamas definen los trabajos a realizar en una intervención (especialmente en el mantenimiento preventivo). En cada gama aparece definido y organizado un conjunto de acciones a realizar, para prevenir los defectos y averías. Las gamas asociadas a cada instalación se podrán planificar de una forma automática por el GMAO en intervalos prefijados de tiempo, de modo que será éste quien realizará por nosotros cálculo de qué trabajos debe realizarse en el siguiente intervalo de tiempo que le indiquemos, generando las ordenes de trabajo correspondientes.
- Planificación: En base a una frecuencia (cada cierto número de días o de horas de funcionamiento), de forma automática la aplicación lanza a ejecutar todas las órdenes de trabajo de tipo preventivo que se deben hacer al haber pasado ya el tiempo correspondiente desde la última vez que se ejecutó la operación. Para ello la aplicación verifica la fecha de la última ejecución y calcula si el equipo ha estado trabajando el número de horas necesario para cumplir el plazo marcado por la frecuencia asignada, y generar las órdenes de trabajo. Las órdenes preparadas quedan listas para ser revisadas por el usuario quien asignará la fecha de programación de la tarea que corresponda y designará a la persona que será responsable de llevarla a cabo. Una vez impresas se harán llegar a los operarios encargados de llevarlas a cabo, quienes las devolverán rellenas con la información complementaria necesaria para hacer el reporte y cerrarlas.
- **Órdenes de trabajo** (work orders): Las órdenes de trabajo (WO) son el documento propio que se genera para cada intervención de mantenimiento sobre una instalación. En él se cargan los trabajos, los conceptos y los gastos que se producen.

En la orden de trabajo que se genera en cada intervención debe constar la mano de obra empleada, operario por operario, el trabajo realizado, observaciones durante el trabajo y otros datos que deseemos formen el histórico de dicha instalación, para usar ese histórico en el análisis de cómo se está manteniendo esa instalación.

• Registro de predictivos: La lectura de las variables seleccionadas generará una gama de lectura que se lanzará simultáneamente a las gamas de mantenimiento preventivo, cuándo se genere una planificación. Los valores obtenidos en la lectura se almacenarán en una tabla al efecto de poder controlar sus variaciones y tomar las acciones correctivas adecuadas en caso de que la lectura supere unos márgenes prefijados.

# 5.10. Órdenes de Trabajo (WO)

Dentro de cualquier aplicación hay alguna funcionalidad o parte que se puede considerar el núcleo o la parte más importante de la misma.

En el caso concreto de la aplicación para la gestión del mantenimiento (GMAO) que se ha realizado en este PFC, se trata de las órdenes de trabajo (work orders). Por lo que se describe con un mayor detalle la función de esta parte de la aplicación.

Las órdenes de trabajo son el resultado de realizar una tarea de mantenimiento (gama) sobre un equipo. La gama estará compuesta de una o diversas operaciones más simples (normas). Por tanto cada orden de trabajo tendrá asociado un equipo y una gama.

Cada orden de trabajo tendrá una persona responsable (un operario) de la ejecución de la misma. Adicionalmente uno o varios operarios pueden realizar las tareas de la WO.

En el apartado de costes asociados a cada orden de trabajo, cada WO puede tener los siguientes costes:

- El coste económico de las horas dedicadas por el operario u operarios en base a las horas que dedican cada uno. Multiplicando las horas por el coste hora de cada operario o operarios que participen en la WO para calcular el coste total de mano de obra de cada orden de trabajo. El coste de la hora será diferente según se trate de de horas extras o en días festivos.
- Coste adicional en concepto de gasto extras asociados a la orden de trabajo, como puede ser el alquiler temporal de un medio de transporte para transportar una serie de materiales adicionales para la ejecución de la WO
- Finalmente, el coste de los recambios necesarios para la ejecución de la orden de trabajo. Ya que una WO es la ejecución en el tiempo de una gama, que puede tener uno o varios recambios de equipos asociados. Pudiendo ser que para algún recambio fuera necesario más de una unidad del mismo.

A continuación, se describe los diferentes estados que puede tomar una orden de trabajo y los eventos o acciones que provocan los cambios de estado:

- Pendiente: en este estado la orden de trabajo está pendiente de ser revisada, antes de ser lanzada. Es el estado por defecto al generar una WO
- Lanzada: En este estado la WO ya ha sido validada por el responsable de mantenimiento. En esta fase ya se ha definido la fecha de ejecución de la misma. En este estado se han puesto en reserva los recambios necesarios para la ejecución de la misma. En caso de haber llegado al umbral mínimo de existencias para algún

recambio, se genera de forma automática un aviso avisando de este hecho, pero la aplicación permite poner la orden de trabajo en estado lanzada.

- Standby: En este estado la orden de trabajo se encuentra parada a causa de algún motivo que impida ponerla en estado lanzada. En este estado se encuentra hasta que el responsable de la misma decida cambiarla de estado.
- Cerrada: Este es el estado en el cual se encuentra aquellas ordenes de trabajo que ya se han realizado y en las que ya se debería o podría haber realizado las diversas imputaciones de coste asociadas (mano de obra, gastos adicionales y recambios). Es importante reseñar que, al cerrar una orden de trabajo, y si no hubiera suficientes unidades en stock (en existencias) de algún recambio para la ejecución de la WO, se impediría cerrarla poniéndola en estado standby, y se mostraría un aviso pidiendo que se aumentaran en la base de datos las unidades necesarias en existencia de los pertinentes recambios. Cuando una WO se encuentre en estado cerrado, no será posible cambiar el estado de la misma ni ningún otro atributo de la orden de trabajo a excepción de las imputaciones de cotes asociadas a la misma.

# 5.11. Gestión de RRHH

A continuación, se describen los elementos que forman parte del módulo de RRHH de la aplicación GMAO.

- Mano de obra (operarios): La finalidad de esta es controlar la mano de obra tanto propia como externa (contratas), teniendo el listado de todos aquellos operarios o entidades que colaboran en nuestro departamento. Se crea aquí un número de operario (interno o externo si trabaja para una subcontrata), con su nombre y datos personales, así como un pequeño resumen de su currículo. Cuando se desee cargar determinada mano de obra a un trabajo en una instalación, usaremos una orden de trabajo (WO) y los datos de esta sección para que figure esa mano de obra empleada con los costes indicados, teniendo en cuenta el diferente coste que tendrán sus horas de trabajo, dependiendo de si son realizadas en horario normal, fuera de él, o en días festivos.
- **Proveedores**: Permite mantener de forma unificada los datos de los diferentes proveedores, fabricantes de los equipos mantenidos, o proveedores de los suministros necesarios.

# 5.12. Integración junto con Gestión de Calidad

La integración de la gestión del mantenimiento junto con la de calidad, permite incluir módulos tales como:

Gestión documental: Estándares, procedimientos, inconformidades, accidentes, etc.

- Auditorías e inspecciones: Agenda, Equipo Auditor, Contenidos, comentarios.
- Mejora continua: objetivos a corto, medio y largo plazo, seguimiento y análisis
- **Gestión de riesgos**: Matriz de riesgo, barreras, causas, efectos, etc.

# 5.13. Alternativas disponibles de Softwares GMAO

Algunos de los GMAO en el mercado actualmente son: myGESTIÓN GMAO, Protecnus, Gmao Solution, Carl Software, GMAO Linx, Valuekeep, Abismo GMAO, Ecogestor, Izaro MMS, Trey GMAO, GMAO Cloud, entre otros.

Existen muchas alternativas de software GMAO, si bien son dos las que son consideradas como de referencia en este ámbito y han servido cómo referencia a la hora de elaborar este informe:

Prisma (de la empresa Sisteplant):



Es el referente a nivel mundial en este tipo de software. Este está realizado en España, y es utilizado por empresas importantes en muchos países.

Hay innumerables programas con menor base instalada, entre los más conocidos estarían "Proteu" de Eagle Technologies y "Magma" de Acimut.

En Argentina se usa EcoGestor, FaciliWorks, MPSoftware, entre otros.

## 5.14. Conclusión

En resumen, una solución GMAO nos permite analizar lo ocurrido y mediante ese análisis, gestionar y transformar esos datos y convertirlos en información, transformando recopilaciones de eventos en hechos útiles para la toma de decisiones.

Si el análisis nos hace ver que lo sucedido pasó, por ejemplo, en 3 equipos, quizá la toma de decisión sea reemplazarlos, o, tener un plan de trabajo bien organizado y eficaz, pero sometido a una carga excesiva de trabajo. Todo esto puede ser útil a la hora de mejorar las condiciones industriales del sector al cual fue aplicado el software de GMAO.

En resumen, necesitamos un software de GMAO para:

- Organizar nuestro futuro
- Conocer nuestro pasado

 Analizar el pasado, extraer datos, y convertirlos en información para la toma de decisiones.

Es una herramienta que nos ayudará a optimizar las gamas de mantenimiento, estandarizar las tareas entre centros, eliminar el papel y la burocracia, aumentar la eficacia del personal de mantenimiento, mejorar la calidad de la información, controlar los inventarios de material, reducir la duplicidad de pedidos, supervisar los presupuestos y desviaciones, vigilar la planificación de tareas, evitar roturas de stock, entre otros.

# 6. R.C.M: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

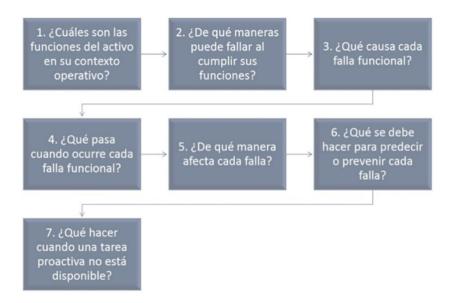
## 6.1. Definición de RCM

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM, Reliability Centered Maintenance), es desarrollado como metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, el cual se puede aplicar a cualquier tipo de instalación industrial, siendo útil para generar y mejorar el plan eficiente de mantenimiento preventivo. La filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad establece, como criterio general, el mantenimiento prioritario de los componentes determinados como críticos para el adecuado funcionamiento de los equipos o máquinas, permitiendo operar hasta su fallo a los componentes no críticos, instante en el que se aplicaría el correspondiente mantenimiento correctivo. Hablamos de una técnica más, dentro de las posibles, para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas.

El RCM es "el mantenimiento que debes hacer para que las instalaciones hagan lo que la Empresa desea que hagan", en otras palabras es la alineación del mantenimiento con la Misión de la Empresa, según Bunny Snellock.

El RCM se basa en la respuesta sistemática y estructurada de :

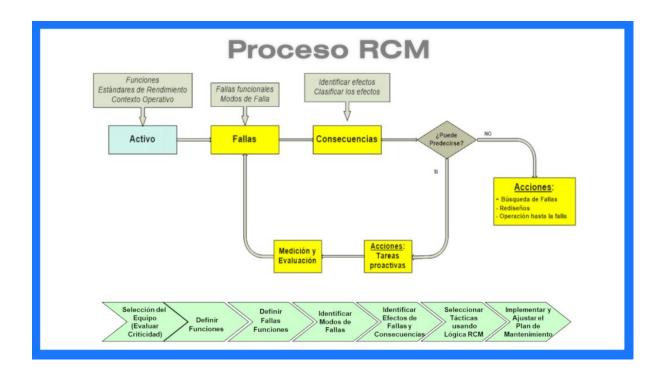
- ¿ Cuáles son las funciones y estándares de funcionamiento de cada sistema?
- ¿ Respecto a sus funciones cómo falla cada equipo?
- ¿ Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿ Qué pasa cuando ocurre cada falla?
- ¿ Cuál es el impacto real de cada falla?
- ¿Cómo se puede prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no es posible prevenir una falla funcional?



Una vez respondidas dichas preguntas, tendremos plenamente establecidas unas estrategias de mantenimiento que permitirán tener un mayor enfoque en cumplir las funciones de la empresa, son absolutamente genéricas y permiten ser usadas en cualquier tipo de empresa o proceso.

El trabajo es realizado por equipos de trabajo multifuncionales con participación de operadores, técnicos, ingeniería, seguridad y ambiente, así como especialistas cuando sean requeridos (procesos, instrumentos, etc.) de forma conjunta.

De este modo, usando un método lógico, estructurado y sistemático con representantes de diferentes departamentos de la empresa, el conocimiento se comparte y el plan de mantenimiento saldrá de un consenso de los responsables de la gestión de los equipos.



# 6.2. Historia del RCM

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad nace a fines de la década de los años 60, en un esfuerzo conjunto del gobierno americano y la industria aeronáutica, con el único objetivo de establecer mejores actividades de mantenimiento con frecuencias óptimas para dichas actividades, con la finalidad de poder atender a los nuevos diseños de aeronaves con un mayor tamaño, capacidad y complejidad. Los nuevos diseños son muchos más complejos que hacen que los mismos sean mantenidos con los antiguos conceptos y políticas de gobierno existente, por ello el objetivo del grupo de trabajo fue implementar procedimientos, instructivos adecuados con la finalidad de minimizar los tiempos de parada por falta de mantenimiento, minimizando los costos de mantenimiento y aumentando la seguridad de los vuelos. El beneficio obtenido para la industria aeronáutica no se mantuvieron como un secreto por lo que el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, es adaptado y adecuado a las necesidades de otras industrias, donde sus procesos son peligrosos y los mantenimientos correctivos deben de ser casi nulas, como en las centrales de generación de potencia haciendo el uso de energía solar y nuclear, así también como otras industrias de procesamiento de alimentos, mineras, transporte marítimo, procesamiento de hidrocarburos y productos químicos, teniendo en común todas ellas el obtener resultados exitosos, incrementando la disponibilidad a la vez generando ahorro en los costos del mantenimiento. Mediante la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, a la fecha existen detalles que se encuentran en desarrollo a fin de adaptarse a las necesidades cambiantes de una vasta variedad de industrias, aun cuando los principios básicos se mantienen.

De esta manera RCM tiene sus orígenes durante la década de 1960. El trabajo del desarrollo inicial fue hecho por la Industria de la Aviación Civil Norteamericana

Resultando ser un proceso desarrollado con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas, destacando por su efectividad.

Fue documentado por primera vez en un reporte escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos en 1978. Desde entonces, el R.C.M ha sido usado para ayudar a formular estrategias de gestión de activos físicos en prácticamente todas las áreas de la actividad humana organizada, y en prácticamente todos los países industrializados del mundo. Este proceso definido por Nowlan y Heap ha servido de base para varios documentos de aplicación en los cuales el proceso RCM ha sido desarrollado y refinado en los años siguientes.

Como resultado de la demanda internacional por una norma que establezca unos criterios mínimos para que un proceso de análisis de fallos pueda ser llamado "RCM" surgió en 1999 la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 la norma SAE JA 1012. Estos establecen criterios que debe satisfacer una metodología para que pueda llamarse RCM.

La norma no es un documento extenso. Incluyendo el prólogo, el glosario y la bibliografía, sólo contiene 4.000 palabras en aproximadamente 10 páginas de papel A4. Su título oficial es "Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)" (SAE JA1011).

# 6.3. RCM y NORMAS

La confiabilidad según la norma ISO 14224-2006: es la capacidad que tiene un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado; un componente o activo presentan diferentes tipos de confiabilidad claro está, asociado a funciones diferentes. La confiabilidad es la probabilidad de que un activo (máquina) no falle durante un periodo previamente establecido.

Ante la diversidad de metodologías que decían llamarse RCM aparecidas a partir de 1990, y como resultado de la demanda internacional por una norma que estableciera unos criterios mínimos para que un proceso de análisis de fallos pueda ser llamado "RCM" surgió en 1999 la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 la norma SAE JA 1012. Tal y como anuncia la introducción de ambas normas, no intentan ser un manual ni una guía de procedimientos, sino que simplemente establecen unos criterios mínimos que debe satisfacer una metodología para que pueda llamarse RCM. Ambas normas se pueden conseguir en la dirección www.sae.org.

La norma SAE JA1011, de AGO 2009, establece que para que un proceso sea reconocido como RCM debe seguir los siete pasos en el orden que se muestra a continuación:

- Delimitar el contexto operativo, las funciones y los estándares de desempeño deseados asociados al activo (contexto operacional y funciones).
- Determinar cómo un activo puede fallar en el cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales).
- Definir las causas de cada falla funcional (modos de falla).
- Describir qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de falla).
- Clasificar los efectos de las fallas (consecuencias de la falla).
- Determinar qué se debe realizar para predecir o prevenir cada falla (tareas e intervalos de tareas).
- Decidir si otras estrategias de gestión de fallas pueden ser más efectivas (cambios de una sola vez).

## Antes de aplicar RCM

- Recopilar información
- Elaborar taxonomía del equipo/sistema
- Documentar contexto operativo

#### Durante el análisis de RCM

- Normalizar el análisis de modos y causas de falla
- Categorizar efectos de falla

# Después del análisis

- Implementar el plan de mantenimiento
- Gestión de las recomendaciones o acciones predeterminadas
- Medir el desempeño

Antes de iniciar el análisis que marca la norma SAE JA1011, se propone que se recopile y analice la información correspondiente del activo que será requerida, también que se establezca la taxonomía y se analice el contexto operativo del activo.

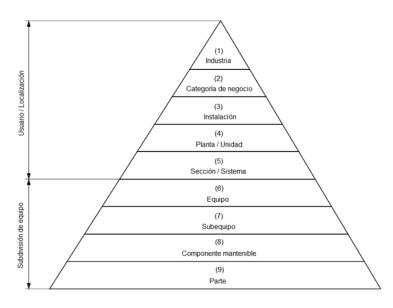
Antes de aplicar la metodología de RCM es indispensable recopilar la información necesaria del activo que servirá como insumo. Esta información incluye planos, diagramas, manuales, bitácoras de operación/mantenimiento, documentos como el contexto operativo (si existe), también es esencial que se entreviste al personal de operación, producción y mantenimiento para extraer información sobre los requerimientos de desempeño deseados y problemas actuales que se estén presentando.

La norma ISO 14224 proporciona una base sólida para la recopilación y estructuración de los datos de confiabilidad y mantenimiento para equipos de instalaciones

en industrias de petróleo, gas natural y petroquímica, estos datos sirven para la gestión de

los activos durante su ciclo de vida. Debido a que aborda equipos comunes en las instalaciones industriales, esta norma puede ser fácilmente adaptada para su aplicación en cualquier industria que tenga activos físicos en los procesos, de esta forma se puede utilizar esta norma al recopilar la información del activo.

La norma ISO 14224 define la taxonomía como la clasificación sistemática de equipos o sistemas en grupos genéricos basada en sus características comunes (localización, uso, tipo de equipo, etc.), la taxonomía es representada en forma de



pirámide como se observa en la\_figura y representa la ubicación del equipo o activo dentro de la organización. Para realizar el RCM, se puede utilizar como insumo la taxonomía, el diagrama de límites de equipo y la subdivisión de equipo que recomienda esta norma.

# 6.4. Uso del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

El Mantenimiento Centrado en la confiabilidad es usado para determinar que debe realizarse, con la finalidad de asegurar que cualquier activo físico permanezca haciendo lo que sus usuarios quieren que desarrollen en las operaciones indicadas. Así mismo, también es el mantenimiento que debemos de hacer para que nuestras instalaciones cumplan con lo que esperamos que haga.

# **6.5.** Ventajas y desventajas

El RCM, como toda herramienta y método de trabajo, tiene sus puntos fuertes y débiles. Mencionamos que, implementado correcta y justificadamente, puede ser una excelente solución.

#### **Puntos fuertes:**

- Hace un especial hincapié en la seguridad y protección del medio ambiente.
- Es una metodología muy rigurosa y auditable, por lo que aporta una garantía adicional ante terceros.
- Contempla todas las "nanotecnologías" actuales, luego es un método totalmente vigente. Implica a todo el personal.

- Exterioriza y evidencia, no solo mejoras en el mantenimiento, sino problemas colaterales: falta de documentación, información, etc.
- En principio tiene que mejorar la fiabilidad del equipo o sistema. La mejora de costes y disponibilidades puede derivarse también del proceso.
- Sirve para definir actuaciones de mejora difíciles de identificar por otros métodos.
- Con un enfoque adecuado, debe ser una herramienta motivadora.

#### **Puntos Débiles:**

- No trata los problemas de operación diaria.
- Es un método muy basado en la experiencia de los participantes, por lo que se puede presentar serios problemas para llevarlo a cabo internamente con equipos y sistemas nuevos.
- El éxito del proceso depende de la capacidad de liderazgo del guía y la predisposición al cambio y motivación de los participantes básicos analizar previamente la situación social laboral, el momento, etc.
- Es un proceso arduo y lento, por lo que la estrategia de implantación debe ser cuidadosa para no "desmoralizar" a los participantes. Sumado a que mantener equipos de trabajo durante largo tiempo no siempre es posible.
- En organizaciones rígidas la racionalización final puede desembocar en unas mínimas o nulas mejoras en cuanto a costes y disponibilidades.
- El conocimiento de nuevas tecnologías (sobre todo predictivas) es importante, pues, en su defecto, el grupo de trabajo cae con gran facilidad en volver a definir un nuevo plan sólo preventivo sistemático.
- Los esquemas de reuniones cortas semanales y grupos de trabajo completos son muy difíciles de implementar.
- Los resultados pueden tardar muchos años en materializarse, con un costo económico demasiado elevado.
- Problemas con la comunicación de resultados.

EL **RCM plus (+)** fue creado en Inglaterra con la intención de superar las desventajas del RCM tradicional, usándose con mayor efectividad en la industria de procesos.

#### Características:

- Es estrictamente racionalizado y se usa solo para los sistemas críticos, posee una avanzada herramienta de evaluación de criticidad.
- Racionaliza el tiempo del equipo de trabajo, evitando la sobrecarga de estos.
- Selección de tareas y toma de decisiones inmediata, es menos burocrático.
- Está basado en una estricta justificación costo/beneficio.
- Introduce estrategias de avance rápido para los sistemas / equipos no críticos,
   llamada RCM Reverse®

El principal aporte del RCM plus (+) consiste en la introducción del análisis de criticidad. Este análisis permite colocar una puntuación a cada sistema de la planta proporcional al nivel de riesgo del mismo, mediante técnicas numéricas.

Así podríamos usar esa información para el establecimiento de prioridades dentro del plan de mantenimiento.

# 6.6. Objetivo del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

Su objetivo principal es mejorar los resultados obtenidos.

De este modo, se prioriza las actividades de mantenimiento según el riesgo y las consecuencias de fallas, donde uno de los principales pasos es la creación del programa de mantenimiento, realizando un análisis de los modos y efectos de fallas (FMEA), es así que una falla en la instalación de un sistema y componentes a un nivel deseado, esta deberá de ser monitoreado y sometido a una evaluación sistemática en los diferentes modos de fallo para cada componente, donde la probabilidad de los fracasos, y sus consecuencias sean determinadas.

Como su nombre lo dice, se basa principalmente en la confiabilidad y este es el parámetro más afectado, de forma positiva, en este método. La confiabilidad solo tiene en cuenta las paradas por mantenimiento correctivo no programado. Así, los equipos e instalaciones se paran cuando el usuario desea, disminuyendo drásticamente el número de paros por fallo en alguna parte del sistema

Otro parámetro afectado de forma positiva es la disponibilidad, para cuyo cálculo se tienen en cuenta todas las paradas por mantenimiento, ya sean programadas o no. RCM disminuye la necesidad de mantenimiento, ya que solo aplica donde es necesario aplicarlo y donde resuelve de forma eficaz un problema, evitando que se hagan tareas de forma rutinaria sin una adecuada justificación técnica. RCM disminuye la cantidad de horas y recursos empleados en mantenimiento, y la cantidad de horas de paro de las instalaciones para realizar trabajos planificados y no planificados al eliminar por un lado trabajos de mantenimiento que no tienen una adecuada justificación técnica y por otro al eliminar o reducir el número de intervenciones por fallos.

Con las mejoras mencionadas anteriormente se logra una disminución de los costos.

El RCM ha sido usado por una amplia variedad de industrias durante los últimos diez años. Cuando se aplica correctamente produce los beneficios siguientes:

- Mayor seguridad y protección del entorno, debido a:
  - Mejoramiento en el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes y disposición de nuevos dispositivos de seguridad.

- Claras estrategias para prevenir fallas y para acciones "a falta de".
- Menos fallas causadas por un mantenimiento innecesario.
- Mejores rendimientos operativos, debido a:
  - Un mayor énfasis en los requisitos del mantenimiento de elementos y componentes críticos.
  - Un diagnóstico más rápido de las fallas, mediante la referencia a los modos de falla.
  - Menor daño secundario a continuación de las fallas de poca importancia (como resultado de una revisión extensa de los efectos de las fallas).
  - Intervalos más largos entre las revisiones, y en algunos casos la eliminación completa de ellas.
  - o Paradas más cortas, más fáciles de solucionar y menos costosas.
  - Menos problemas de "desgaste de inicio" después de las interrupciones debido a que se eliminan las revisiones innecesarias.
  - La eliminación de elementos que no desempeñan ni cumplen ninguna función, por lo tanto las fallas ligadas a ellos.
  - o La eliminación de componentes poco fiables.
  - Un conocimiento sistemático acerca de la nueva planta.
- Mayor Control de los costos del mantenimiento, debido a:
  - Menor mantenimiento rutinario innecesario.
  - Mejor compra de los servicios de mantenimiento (motivada por el énfasis sobre las consecuencias de las fallas).
  - La prevención o eliminación de fallas.
  - Unas políticas de funcionamiento más claras, especialmente en cuanto a los equipos de reserva.
  - Menor necesidad de usar personal experto caro porque todo el personal tiene mejor conocimiento de las plantas.
  - Pautas más claras para la adquisición de nueva tecnología de mantenimiento, tal como equipos de monitorización de la condición ("condition monitoring").
- Más larga vida útil de los equipos, debido al aumento del uso de las técnicas de mantenimiento "a condición".
- Una amplia base de datos de mantenimiento, que:
  - Reduce los efectos de la rotación del personal con la pérdida consiguiente de su experiencia y competencia.
  - Provee un conocimiento general de la planta más profundo en su contexto operacional.
  - Conduce a la realización de planos y manuales más exactos
  - Hace posible la adaptación a circunstancias cambiantes (tales como nuevos horarios de turno o una nueva tecnología) sin tener que volver

a considerar desde el principio todas las políticas y programas de mantenimiento.

- Mayor motivación de las personas, especialmente el personal que está interviniendo en el proceso de revisión. Esto lleva a un conocimiento general de la planta en su contexto operacional mucho mejor, junto con un "compartir" más amplio de los problemas del mantenimiento y de sus soluciones. También significa que las soluciones tienen mayores probabilidades de éxito.
- Mejor trabajo de grupo, motivado por un planteamiento altamente estructurado del grupo a los análisis de los problemas del mantenimiento y a la toma de decisiones. Esto mejora la comunicación y la cooperación entre:
  - Las áreas: Producción u operación así como los de la función del mantenimiento.
  - Personal de diferentes niveles: gerentes, jefes de departamentos, técnicos y operarios.
  - Especialistas internos y externos: los diseñadores de la maquinaria, vendedores, usuarios y el personal encargado del mantenimiento.

Muchas compañías han encontrado que el RCM les permite conseguir mucho más en el campo de la formación de equipos que en la de los círculos de calidad, especialmente en las plantas de alta tecnología.

Todos estos factores forman parte de la evolución de la gestión del mantenimiento, y muchos ya son la meta de los programas de mejora. Lo importante del RCM es que provee un marco de trabajo paso a paso efectivo para realizarlos todos a la vez, y para hacer participar a todo el que tenga algo que ver con los equipos de los procesos.

# 6.7. Preguntas básicas sobre el R.C.M

Estas preguntas se hacen refiriéndose a cada elemento al que se le quiere aplicar un mantenimiento del tipo R.C.M.

#### ¿Qué es una falla?

Cuando el sistema no cumple con su función se dice que tiene una "falla". Cada componente tiene su propia y única combinación de modos de falla. Para que el sistema cumpla su función cada uno de los subsistemas en que se subdivide deben cumplir la suya.

En este método es importante detectar la causa de las fallas y no el tipo de falla en sí, para analizar posteriormente la gravedad de esta consecuencia, la probabilidad de que se produzca y la facilidad para su detección, y de acuerdo con ello, adoptar medidas.

#### ¿Cuáles son las funciones?

Cada elemento en los equipos tiene una función específica. La pérdida total o parcial en los equipos de las funciones que cumplen afecta a la organización en cierta manera.

El proceso de RCM comienza definiendo las funciones y los estándares de comportamiento funcional asociados a cada elemento de los equipos en su contexto operacional.

#### ¿De qué forma puede fallar?

John Moubray, en su libro Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en su segunda edición clasifica seis distintas formas de patrones de falla:

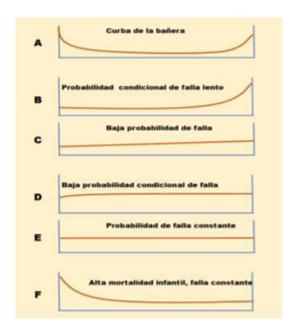
A: Es la típica bañera, la cual comienza con una incidencia mayor de fallas, luego con

un incremento constante condicional de falla y finalmente la zona de desgaste.

B: Este patrón muestra una baja probabilidad condicional de falla el cual crece muy lentamente y termina en la zona de desgaste.

C: Este patrón nos muestra una probabilidad condicional de falla que se incrementa lentamente, y no tiene un desgaste claramente identificado.

D: Este patrón nos muestra una baja probabilidad condicional de fallas cuando el equipo es recién salido de su fabricación, pero luego presenta un veloz crecimiento a un mismo nivel.



Fuente: Moubray Jhon (2013)

E: Muestra una probabilidad de falla condicional constante a todas las edades por igual, la falla se producirá al azar.

F: Este patrón nos muestra una alta mortalidad infantil que luego decae a un nivel de falla constante o de hacerlo lo hace muy lentamente.

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo se hayan definido, el paso siguiente es identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de una falla funcional.

Se puede hacer una distinción entre fallas funcionales y fallas técnicas. Definiremos como falla funcional a aquella falla que impide al sistema en su conjunto cumplir su función principal y una falla técnica es aquella que, no impidiendo al sistema cumplir su función,

supone un funcionamiento anormal de una parte de éste, se puede destacar que las fallas funcionales son las más importantes.

Las fallas técnicas afectan tanto a sistemas como a subsistemas o equipos y suponen funcionamientos anormales que pueden tener como consecuencia una degradación acelerada del equipo y acabar convirtiéndose en fallas funcionales del sistema.

#### ¿Qué causa que falle?

El paso siguiente es tratar de identificar las causas de la pérdida de una función. Esto asegura que no se malgaste el tiempo y el esfuerzo tratando los síntomas de las fallas, ahorrando tiempo, dinero y esfuerzo.

Una falla puede tener múltiples causas, aunque éstas pueden clasificarse en los siguientes grandes grupos:

- Causas relacionadas con el diseño.
- Causas relacionadas con el montaje.
- Causas relacionadas con la forma de operar el equipo
- Causas relacionadas con los mantenimientos que se efectúan en él.
- Causas relacionadas con los suministros que requiere.
- Causas relacionadas con sus componentes internos.
- Causas relacionadas con factores ambientales.
- Causas relacionadas con otros equipos, que provocan un fallo consecuencial.

#### ¿Qué sucede cuando falla?

Después de identificar los modos de falla, lo que se hace es registrar que pasaría cuando falle, el efecto que tendría en donde está operando la máquina o elemento. Con esta información, podemos ver que importancia se le debe dar a la falla y, por lo tanto, al mantenimiento que hay que darle para evitarla.

#### ¿Qué ocurre si falla?

En este paso se analiza las consecuencias de las fallas, debemos preguntarnos ¿Cómo? y ¿Cuánto? importa cada falla. Identificar las consecuencias de cada falla permite determinar si la prevención es necesaria o no, y que tan necesaria resulta para el funcionamiento correcto del equipo.

RCM clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos:

 Consecuencias de las fallas no evidentes: no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias. RCM las reconoce como fallas y les otorga prioridad elevada.

- Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: afectan físicamente a alguien, o infringen las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. RCM pone a las personas por encima de la problemática de la producción.
- Consecuencias Operacionales: afectan a la producción. Estas consecuencias cuestan dinero.
- Consecuencias que no son operacionales: no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación.

Si una falla tiene consecuencias significativas es importante tratar de prevenirlas. Si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático además de las rutinas básicas de lubricación y servicio.

#### ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas?

La mayor parte de la gente cree que la mejor forma de mejorar al máximo la disponibilidad de la planta es hacer mantenimientos de forma rutinaria, donde estas fechas están basadas en historiales acerca de fallas anteriores.

Esto es verdad todavía para cierto tipo de equipos sencillos, y para algunos elementos complejos con modos de falla dominantes.

El reconocimiento de estos hechos ha persuadido a algunas organizaciones a abandonar por completo la idea del mantenimiento sistemático. De hecho, esto puede ser lo mejor que hacer para fallas que tengan consecuencias sin importancia. Pero cuando las consecuencias son significativas, se debe de hacer algo para prevenir las fallas, o por lo menos reducir las consecuencias.

RCM reconoce cada una de las categorías más importantes de tareas preventivas, como siguen:

• Tareas "A Condición": estas técnicas se basan en el concepto de fallas potenciales, que se define como las condiciones físicas identificables que indican que va a ocurrir una falla funcional o que está en el proceso de ocurrir.

Las nuevas técnicas se usan para determinar cuando ocurren las fallas potenciales de forma que se pueda hacer algo antes de que se conviertan en verdaderos fallas funcionales.

Los elementos se dejan funcionando a condición de que continúen satisfaciendo los estándares de funcionamiento deseado.

• Tareas de Reacondicionamiento Cíclico y de Sustitución Cíclica: los equipos son revisados, o sus componentes reparados a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento.

En algunos casos no se puede evitar la falla funcional, pero algunas fallas son muy predecibles aunque no puedan ser detectadas con suficiente tiempo.

Se debe reconocer que las fallas no sucederán exactamente cuando fueron predichas, de manera que debe permitir algún margen de tiempo.

Una gran ventaja del RCM es el modo en que provee criterios simples, precisos y fáciles de comprender para decidir qué tarea sistemática es técnicamente posible en cualquier contexto, y determinar la frecuencia en que se hace y quien debe de hacerlo.

El RCM también ordena las tareas en un orden descendente de prioridad.

#### ¿Qué sucede si no puede prevenirse la falla?

Además de preguntar si las tareas sistemáticas son técnicamente factibles, el RCM se pregunta si vale la pena hacerlas. A partir de los siguientes principios:

• Una acción que signifique prevenir la falla de una función no evidente sólo valdrá la pena hacerla si reduce el riesgo de una falla múltiple asociada.

Si no se puede encontrar una acción sistemática apropiada, se debe llevar a cabo la tarea de búsqueda de fallas.

En el caso de modos de falla ocultos que son comunes en materia de seguridad o sistemas protectores no puede ser posible monitorear en busca de deterioro porque el sistema está normalmente inactivo. En estos casos se explora con pruebas para hallar la falla funcional. Estas son pruebas que pueden causar que el dispositivo se active, demostrando la presencia o ausencia de una funcionalidad correcta. Si tal prueba no es posible se debe re—diseñar el componente.

- Una acción que signifique el prevenir una falla que tiene consecuencias en la seguridad o el medio ambiente merecerá la pena hacerla si reduce el riesgo de esa falla en sí mismo a un nivel realmente bajo, o si lo suprime por completo. Si no se consigue esto el componente debe rediseñarse.
- Si la falla tiene consecuencias operacionales, sólo vale la pena realizar una tarea sistemática si el costo total de hacerla durante cierto tiempo es menor que el costo de las consecuencias operacionales y el costo de la reparación durante el mismo período de tiempo. Si no es justificable, la decisión será el no mantenimiento sistemático.
- Si una falla no tiene consecuencias operacionales, sólo vale la pena realizar la tarea sistemática si el costo de la misma durante un período de tiempo es menor que el de la reparación durante el mismo período.

Si no son justificables, la decisión inicial "a falta de" sería de nuevo el no mantenimiento sistemático, y si el costo de reparación es demasiado alto, la decisión "a falta de" secundaria sería re-diseñar.

Este enfoque gradual de "arriba-abajo" significa que las tareas sistemáticas sólo se especifican para elementos que las necesitan realmente.

Luego los expertos deben consolidar el trabajo en un plan de mantenimiento para el sistema. Este es el "producto final" del RCM, el encargado del mantenimiento debe esforzarse por optimizar el producto.

# 7. Mantenimiento Productivo Total (T.P.M.)

# 7.1. ¿Qué es el TPM?

Las siglas TPM se refieren a Mantenimiento Productivo Total (Total Productive Maintenance), una filosofía de gestión de Mantenimiento proveniente de Japón, de los años 70, de la mano del Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM), con el objetivo de minimizar/ eliminar las pérdidas en producción debido al estado de los equipos, y así alcanzar un método de trabajo rigurosamente puntual, denominado "forma de trabajo Just in Time".

Estas pérdidas se pueden resumir en lo que se conoce como "las seis grandes pérdidas".

El TPM tiene sus principales antecedentes en los conceptos de mantenimiento preventivo desarrollados en los años cincuenta. Estos consisten en actividades de revisión parcial de forma planificada, en las cuales se ejecutan cambios, sustituciones, lubricaciones, entre otras actividades; antes de que se materialicen las fallas. El cambio principal de mentalidad que permitió la implantación de esta lógica fue entender que "Los costos por descomposturas no planeadas son mucho mayores a los costos de quitar los equipos de la línea de producción por períodos cortos para hacerles mantenimiento"

#### 7.2. Los Pilares del TPM

El TPM se sustenta en 8 pilares:

# 7.2.1. Mejoras enfocadas o mejora orientada (Kobetsu Kaizen)

Este pilar también es llamado kobetsu kaizen y desarrolla el proceso de mejora continua similar al existente en los procesos de Gestión de la calidad total, llegando a la causa raíz de los problemas, con previa planificación de la meta y el tiempo de logro.

El pilar de mejoras enfocadas aporta metodologías para llegar a la raíz de los problemas, permitiendo identificar el factor a mejorar, definirlo como meta y estimar el tiempo necesario para lograrlo. De igual manera, posibilita conservar y transferir el conocimiento adquirido durante la ejecución de acciones de mejora.

Estas actividades están dirigidas a mejorar gran variedad de elementos, como un proceso, un procedimiento, un equipo o componentes específicos de algún equipo; detectando acertadamente la pérdida y ejecutando un plan de acción para su eliminación

# 7.2.2. <u>Mantenimiento Autónomo (Jishu Hozen)</u>

Está enfocado al operario ya que es el que más interactúa con el equipo, propone alargar la vida útil de la máquina o línea de producción.

Está enfocado por un conjunto de actividades que se realizan diariamente por todos los trabajadores en los equipos que operan, incluyendo inspección, lubricación, limpieza, intervenciones menores, cambio de herramientas y piezas, estudiando posibles mejoras, analizando y solucionando problemas del equipo y acciones que conduzcan a mantener el equipo en las mejores condiciones de funcionamiento. Estas actividades se deben realizar siguiendo estándares previamente preparados con la colaboración de los propios operarios. Los operarios deben ser entrenados y deben contar con los conocimientos necesarios para dominar el equipo que opera.

El mantenimiento autónomo puede prevenir:

- Contaminación por agentes externos
- Rupturas de ciertas piezas
- Desplazamientos
- Errores en la manipulación

#### 7.2.3. Mantenimiento planificado

El mantenimiento planificado o planeado constituye en un conjunto de actividades programadas, con el fin de avanzar gradualmente hacia la búsqueda de: cero averías, cero defectos, cero malgastos, cero accidentes y cero contaminaciones.

Estas labores serán ejecutadas por personal calificado y especializado en mantenimiento.

Los principales objetivos del mantenimiento planeado son:

- Reducir el coste de mantenimiento
- Reducción espera de trabajos
- Eliminar radicalmente los fallos

## 7.2.4. Control inicial

Responsable de la gestión de los proyectos, consta básicamente en volver eficiente la gestión de estos e implementar en la práctica la gestión del conocimiento, es decir, lo aprendido en las máquinas y procesos nuevos, gracias al registro y consulta del historial de errores y aciertos.

Con este pilar se pretende reducir el deterioro de los equipos actuales y mejorar los costos de su mantenimiento.

Se pretende con este pilar, asegurar que los equipos de producción a emplear sean:

- Fiables
- Fáciles de mantener
- Fáciles de operar
- Seguros

#### 7.2.5. Mantenimiento de Calidad (Hinshitsu Hozen)

Enfatizado básicamente a las normas de calidad que se rigen.

Es una estrategia de mantenimiento que tiene como propósito establecer las condiciones del equipo en un punto donde el "cero defectos" es factible. Las acciones del MC buscan verificar y medir las condiciones "cero defectos" regularmente.

#### Se basa en:

- Realizar acciones de mantenimiento orientadas al cuidado del equipo para que este no genere defectos de calidad
- Prevenir defectos de calidad certificando que la maquinaria cumple las condiciones para "cero defectos" y que estas se encuentran dentro de los estándares técnicos.
- Observar las variaciones de las características de los equipos para prevenir defectos y tomar acciones adelantándose a las situaciones de anormalidad potencial.
- Realizar estudios de ingeniería del equipo para identificar los elementos del equipo que tienen una alta incidencia en las características de calidad del producto final, realizar el control de estos elementos de la máquina e intervenir estos elementos.

#### 7.2.6. Entrenamiento

Correcta instrucción de los empleados relacionada con los procesos en los que trabaja cada uno.

El objetivo principal en este pilar es aumentar las capacidades y habilidades de todo el personal, dando instrucciones de las diferentes actividades de la empresa y como se hacen.

#### 7.2.7. TPM en oficinas

Es llevar toda la política de mejoramiento y mejoras en la eficiencia a los procesos administrativos, entendidos como "fábricas de procesamiento de información" (papelerías, órdenes, etc.).

Objetivo: Lograr que se corrijan los problemas que restan eficiencia a estos procesos, desde la gerencia y a todos los departamentos administrativos y actividades de soporte.

Para ello se fundamenta en cinco actividades nucleares, que a su vez están asociados a los pilares de la metodología:

- Mejora orientada
- Mantenimiento autónomo
- Entrenamiento
- Dotación flexible de personal
- Medición de rendimientos

Estas actividades nucleares son, a diferencia de los pasos de los restantes pilares, no necesariamente secuenciales en su desarrollo.

## 7.2.8. Seguridad y medio ambiente

Trata las políticas medioambientales y de seguridad regidas por el gobierno. Se enfoca en que el ambiente de trabajo sea confortable y seguro.

Los principales objetivos son:

- Cero accidentes.
- Cero contaminaciones.

# 7.3. Las seis grandes pérdidas

Según la filosofía del TPM, una máquina averiada, que no esté al 100% de su capacidad o que fabrica productos defectuosos, es una máquina que produce pérdidas para la empresa, y deben tomarse medidas para evitar estos casos en el futuro.

Todo esto se estudia y analiza mediante lo que se conoce como OEE (Efectividad total de equipos), que nos permite cualificar las seis grandes pérdidas con el objetivo de reducirlas y aumentar el tiempo efectivo de la máguina.

Estas pérdidas son:

- Fallos del equipo
- Puesta a punto y ajustes de las máquinas (o tiempos muertos): Ocurren al preparar el equipo para realizar otros trabajos, realizar un ajuste o para realizar otro producto.

- **Detenciones menores (averías menores)**: Ocurren cuando se debe detener el equipo por alguna avería o alguna falla en este.
- Velocidad de operación reducida: El equipo no opera a su mayor capacidad.
- **Defectos en el proceso**: Se obtienen piezas defectuosas, lo que lleva a fabricar otras nuevas.
- **Pérdidas de puesta en marcha**: Tiempo propio para que un proceso arranque después de ajustar la máquina para el inicio de la jornada.

# 7.4. Técnicas y herramientas básicas

Esta metodología ofrece varias piezas y herramientas fundamentales que facilitan la aplicación y difusión de los conocimientos. Algunas son tan conocidas como las 5S, otras están asociadas a cómo los estándares o documentos procedimentales son importantes para el desarrollo y afianzamiento metodológico en el personal:

- 5S
- Hojas de estándares
- Lecciones de Un Punto
- Técnicas de análisis de causa raíz (norma IEC 62740, Root Cause Analysis)
- Matrices de competencias (conocidas también como habilidades o capacidades de las personas)
- Gestión o control visual
- Información MP

# 7.5. Cómo implementar el mantenimiento productivo total (TPM)

Ahora que se comprende la base (sistema 5-S) y los pilares sobre los que se construye el proceso TPM, echemos un vistazo a cómo implementar un programa TPM. Por lo general, esto se hace en cinco pasos: identificar un área piloto, restaurar el equipo a su condición operativa principal, medir la OEE (Efectividad Total de los Equipos), abordar y reducir las pérdidas importantes e implementar el mantenimiento planificado.

#### Paso 1: identificar un área piloto

El uso de un área piloto para comenzar la implementación ayuda a obtener una mayor aceptación por parte del personal cuando ven los beneficios que surgen del proceso. Al elegir el equipo para un área piloto, considera estas tres preguntas:

- ¿Qué es lo más fácil de mejorar? Seleccionar un equipo fácil de mejorar da la oportunidad de obtener resultados positivos e inmediatos, pero no prueba el proceso TPM con tanta fuerza como las otras dos opciones.
- ¿Dónde está el cuello de botella? La elección del equipo en el lugar donde se detiene la producción brinda un aumento en la producción total y recuperación rápida de inversión. Aunque con esto uno se arriesga a quizás dejar fuera de línea a un activo crítico más tiempo del que uno quiere.
- ¿Qué es lo más problemático? Equipos de reparación que causen más problemas a los operadores serán bien recibidos, lo que fortalecerá el apoyo al programa TPM, pero no brinda tanta recuperación inmediata como el enfoque anterior.

Si es la primera vez que se implementa un programa TPM, la mejor opción suele ser el primer enfoque: el equipo más fácil de mejorar. Si se tiene alguna o amplia experiencia con el mantenimiento productivo total, se puede optar por corregir el cuello de botella. Esto se debe a que se pueden crear existencias o inventarios temporales, asegurando que se pueda tolerar el tiempo de inactividad, lo que minimiza el riesgo.

# Paso 2: Restaurar el equipo a las condiciones óptimas de funcionamiento

El concepto de restaurar el equipo a la condición operativa óptima gira en torno al sistema 5-S y el mantenimiento autónomo. Los participantes de TPM deben aprender a mantener continuamente el equipo en su estado original utilizando el sistema 5-S (organize, cleanliness, orderliness, standardize and sustain): organizar, limpiar, ordenar, estandarizar y mantener. Esto puede incluir:

- Fotografiar el área y el estado actual del equipo y luego publicarlos en tu tablero de proyecto.
- Limpiar el área quitando herramientas no utilizadas, escombros y cualquier cosa que pueda considerarse desperdicio.
- Organizar las herramientas y los componentes que utilizas con regularidad (una opción popular es un tablero de sombras con contornos de herramientas).
- Limpiar el equipo y el área circundante a fondo.

- Fotografiar las mejoras del equipo y el área circundante y luego publicarlas en el tablero del proyecto.
- Crear un proceso de trabajo 5-S estandarizado para mantener la continuidad de este proceso.
- Auditar el proceso con menor frecuencia (primero diariamente, luego semanalmente, etc.) para asegurar que se esté siguiendo el proceso 5-S (actualiza el proceso para mantenerlo actualizado y relevante).

Una vez establecido el estado de referencia del equipo, se puede implementar el programa de mantenimiento autónomo capacitando a operadores sobre como limpiar el equipo mientras se inspecciona en busca de desgastes y anomalías.

Crear un programa de mantenimiento autónomo también significa desarrollar una forma estandarizada de limpiar, inspeccionar y lubricar el equipo correctamente. Los elementos a abordar durante el período de planificación para el programa de mantenimiento autónomo incluyen:

- Identificar y documentar los puntos de inspección, incluidas las piezas que soportan desgaste.
- Aumentar la visibilidad donde sea posible para ayudar con la inspección mientras la máquina está en funcionamiento (reemplazando la protección opaca con la protección transparente).
- Identificar y etiquetar claramente los puntos de ajuste con sus ajustes correspondientes (la mayoría de las personas colocan etiquetas con los ajustes directamente en el equipo).
- Identificar todos los puntos de lubricación y programar el mantenimiento durante los cambios o el tiempo de inactividad planificado (considere colocar puntos de lubricación de difícil acceso que requieran detener la máquina en el exterior del equipo).
- Capacitar a los operadores para que sean conscientes de cualquier problema potencial o emergente y así poder informar al supervisor de línea.
- Crear una lista de verificación de mantenimiento autónoma para todas las tareas controladas por el operador.
- Auditar el proceso con menor frecuencia para garantizar que se siga la lista de verificación.

#### Paso 3: Medir OEE (Overall Equipment Effectiveness)

Este paso requiere un seguimiento de OEE (efectividad general del equipo) para el equipo de destino, manualmente o mediante software automatizado.

Dado que las mayores pérdidas con respecto a los equipos son el resultado de un tiempo de inactividad no planificado, es importante categorizar cada evento de paro no planificado.

Se recomienda la recopilación de datos durante un mínimo de dos semanas para obtener una representación precisa del tiempo de parada no planificado y una imagen clara de cómo las paradas pequeñas y los ciclos lentos afectan la producción.

A continuación vemos un ejemplo de un gráfico de las 5 pérdidas principales:

Top 5 de pérdidas					
Rango de pérdida	Categoría de pérdida	Tiempo perdido (minutos)			
1	Fallo del equipo: Atasco de relleno	400			
2	Fallo del equipo: etiquetadora de botellas baja	250			
3	Configuración / Ajustes: Cambio de botella	170			
4	Configuración / Ajustes: Cambio de etiqueta	165			
5	Fallo del equipo: atasco de botella	10			
Tiempo perdido total = 995 minutos (16,5 horas)					

#### Paso 4: Abordar / Reducir pérdidas importantes

Cuando se tengan datos de donde están las principales pérdidas, es momento de abordarlas. En este paso se usa el pilar de mejora focalizada. Para esto se reúne un equipo de operadores, personal de mantenimiento y supervisores que puedan analizar los datos de la OEE, e identificar las causas principales de pérdidas.

El proceso sería el siguiente:

Selecciona una pérdida basada en OEE y datos de tiempo de parada. Esta debería ser la mayor fuente de tiempo de paro no planificado.

Examina los síntomas del problema (s). Recopila información detallada sobre síntomas como observaciones, evidencia física y evidencia fotográfica. Se recomienda encarecidamente utilizar un diagrama de espina de pescado para realizar un seguimiento de los síntomas y registrar información mientras se encuentra en el equipo.

Con tu equipo, discute e identifica las posibles causas de los problemas, verifica las posibles causas con la evidencia que ha reunido y haz una lluvia de ideas sobre las formas más efectivas de resolver el problema.

Programa el tiempo de inactividad planificado para implementar las correcciones acordadas.

Una vez que se haya implementado la corrección, reinicia la producción y observa qué tan efectiva es la corrección con el tiempo. Si resuelves el problema, toma nota para implementar el cambio y pasar a la siguiente causa de tiempo de suspensión. Si no es así, reúne más información y realiza otra sesión de lluvia de ideas.

#### Paso 5: Implementar el mantenimiento planificado

El último paso del proceso de implementación de TPM es la integración de técnicas de mantenimiento proactivo en tu programa. Esto implica trabajar con el tercer pilar del mantenimiento planificado. Elije qué componentes deben recibir un mantenimiento proactivo observando tres factores: componentes de desgaste, componentes que fallan y puntos de tensión. La identificación de los puntos de tensión a menudo se realiza mediante termografía infrarroja y análisis de vibraciones.

A continuación, utiliza intervalos de mantenimiento proactivos (estos pueden actualizarse si es necesario). Para el desgaste y los componentes basados en fallas previstas, establece el nivel de desgaste actual y luego un intervalo de reemplazo de referencia. Una

vez terminado, se puede crear un programa de reemplazo proactivo de todos los componentes propensos a fallar.

Finalmente, se desarrolla un proceso estandarizado para crear órdenes de trabajo basadas en el programa de mantenimiento planificado.

### 7.6. Ventajas de implementar TPM

El TPM enfoca sus objetivos hacia la mejora de la eficiencia de los equipos y las operaciones mediante la reducción de fallas, no conformidades, tiempos de cambio, y se relaciona, de igual forma, con actividades de orden y limpieza. Actividades en las que se involucra al personal de producción, con el propósito de aumentar las probabilidades de mantenimiento del entorno limpio y ordenado, como requisitos previos de la eficiencia del sistema. Además, el TPM presenta las siguientes ventajas:

- Mejoramiento de la calidad: Los equipos en buen estado producen menos unidades no conformes.
- Mejoramiento de la productividad: Mediante el aumento del tiempo disponible.
- Flujos de producción continuos: El balance y la continuidad del sistema no solo benefician a la organización en función a la disponibilidad del tiempo, sino también reduce la incertidumbre de la planeación.
- Aprovechamiento del capital humano.
- Reducción de gastos de mantenimiento correctivo: Las averías son menores, así mismo se reduce el rubro de compras urgentes.
- Reducción de costos operativos.

Vale la pena considerar que los equipos son susceptibles a un desgaste natural, y a un desgaste forzoso. Las actividades del TPM se enfocan en eliminar los factores de desgaste forzoso, aumentando el cuidado sobre el equipo y las instalaciones.

# 7.7. ¿Quién es responsable del TPM?

- Gerentes e ingenieros industriales: Son los primeros que deben promover una cultura de TPM en la empresa. Los ingenieros tienen una mayor responsabilidad porque también deben interpretar y supervisar los datos recogidos en el GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador).
- **Gestores y técnicos de mantenimiento**: Los gestores y técnicos de mantenimiento deben enseñar a cada trabajador a realizar sus propias investigaciones y actividades de mantenimiento preventivo para cumplir sus objetivos
- **Obreros**: Los trabajadores de la fábrica son las personas que realmente utilizan los equipos en el día a día y deben sentirlos como suyos. Pueden ser responsables de la

limpieza, la lubricación de las máquinas y otras tareas rutinarias. Y más: son los primeros en detectar un posible problema, que deben reportar inmediatamente a través del GMAO.

# 7.8. Diferencia entre TPM y RCM

Existe una diferencia fundamental entre la filosofía del TPM y la del RCM: mientras que en la primera son las personas y la organización el centro del proceso, en el RCM el mantenimiento se basa en el análisis de fallos, y en las medidas preventivas que se adoptarán para evitarlos, y no tanto en las personas.

La implantación del TPM en una empresa puede tardar de 2 a 3 años , y pueden darse de la siguiente manera:

- 1. **Gerencia anuncia la implementación:** Se informa a la empresa de la implementación.
- 2. **Se lanza una campaña educacional:** Se realiza una campaña masiva de información y entrenamiento en la empresa sobre el TPM.
- 3. **Crear organizaciones para promover el TPM:** Grupos como Comité de Gerencia, Comités departamentales y Grupos de Tarea para analizar cada tema.
- 4. Establecer políticas y metas del TPM: Se hace una encuesta a todas las operaciones de la empresa a fin de medir la efectividad real del equipo operativo y conocer la situación existente con relación a las"6 Grandes Pérdidas". Luego se fijan metas y se propone un programa de procedimientos concretos en el plan de dirección general para cumplirlas a medio y largo plazo.
- 5. **Formular Plan Maestro de desarrollo de TPM:** Programa de todas las actividades y etapas.
- 6. **Disparo de salida del TPM:** Una vez terminado lo anterior, se da la "partida oficial" al programa TPM. Determina el comienzo de la batalla contra las 6 grandes pérdidas.
- 7. **Mejorar la efectividad del equipo:** Se inicia el análisis y mejora de la efectividad de cada uno de los equipos de la planta. Se define y establece un sistema de información para registrar y analizar sus datos de fiabilidad y mantenibilidad
- 8. Establecer programa de mantenimiento autónomo para los operarios: Se define el sistema y se forman grupos autónomos de mantenimiento que inician sus actividades inmediatamente después de la"partida oficial". El departamento de mantenimiento verá aumentar su trabajo en forma considerable.
- 9. Establecer un programa de mantenimiento planificado para el departamento de mantenimiento: En este, ya no se encuentran las tareas que se delegan a los operarios, sino revisiones técnicas más específicas.
- 10. Entrenamiento para mejorar capacidades de operación y mantenimiento: Se inicia el entrenamiento a operadores y mantenedores a fin de mejorar sus conocimientos y habilidades para una gestión adecuada de los equipos.

- 11. Desarrollo temprano de un programa de gestión de equipos: Cuando se instala un nuevo equipo, a menudo aparecen problemas durante las operaciones de test, y arranque, aunque durante el diseño, la fabricación, y la instalación todo parece marchar normalmente. Puede que los ingenieros de mantenimiento e ingeniería tengan que hacer muchas mejoras antes de que comience la operación normal.
- 12. Implantación plena del TPM y contemplar metas más elevadas: Se alcanza un alto nivel de efectividad del equipo y un período de estabilización. El trabajo continúa para mejorar los resultados y así la herramienta perdura en el tiempo. Con este objeto se deben crear estímulos a los logros internos del programa TPM en los diversos departamentos de la empresa.

# 7.9. TPM y normas ISO

La metodología TPM y las normas ISO tienen por naturaleza una simbiosis que se puede aprovechar para desarrollar en las empresas tanto los premios TPM como la gestión mediante normas, certificables o no, de ISO.

Algunas de las normas con relación directa con la metodología TPM son:

Listado de algunas normas y la metodología TPM			
Norma	Enfoque principal		
9001	Calidad de productos o servicios		
14001	Gestión de sistemas ambientales		
45001	Gestión de sistemas de salud y seguridad en el trabajo		
50001	Gestión energética		
55001	Gestión de activos		
IEC 6030-1-11	Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM, Reliability Centered Maintenance)		

12489	Modelos y cálculos de confiabilidad
14224	Recolección e intercambio de datos para confiabilidad de activos

#### 7.10. Conclusión

El TPM es una revolución en los miembros de una empresa, en su mentalidad y en la de la organización. Es en la actualidad uno de los sistemas fundamentales para lograr la eficiencia total, en base a la cual es factible alcanzar la competitividad total. Sintetizando los aportes del TPM a un sistema de mantenimiento óptimo podemos decir que: TPM mejora la eficiencia y eficacia del Mantenimiento.

Tiene un arduo proceso de implementación, pero al final sigue siendo una inversión en cambios clave que impactan en el aumento de ganancias a largo plazo, como también en la satisfacción de los operarios y clientes.

Es una herramienta que toda empresa debe implementar, sobre todo si quiere aumentar su prestigio como compañía.

# 8. Costos de Mantenimiento

El Costo de Mantenimiento se refiere al costo erogado por concepto de las tareas realizadas para conservar o restaurar un bien o un producto a un estado específico. El sector de mantenimiento en la planta o en la empresa puede ser considerado por algunos gerentes como un gasto, para otros como una inversión en la protección del equipo físico, y para algunos como un seguro de producción, es decir, que la planta no pare por un fallo de mantenimiento. La actitud del gerente pasará a sus empleados (sean mecánicos u operarios) afectando directamente en los resultados.

Optimizar el mantenimiento en una empresa a través de una filosofía de trabajo que permita mejorar los procesos, alargar la vida útil de los equipos, minimizar las fallas, disminuir los tiempos de reparación, aumentar la seguridad y operación de los equipos, y sobre todo, una reducción significativa de los costos de producción y mantenimiento, es la misión primordial de una gerencia moderna y de calidad.

Históricamente, se ha hecho mucho énfasis en la planificación, programación y control de las paradas de planta. Es importante señalar que todo proyecto debe ir acompañado de una planificación de negocio donde la visión, objetivos, estrategias y las expectativas de la empresa se reflejan en retorno sobre la inversión.

Los costos de mantenimiento de un equipo se pueden diferenciar entre: directos e indirectos.

#### 8.1. Costos directos

Están relacionados con el rendimiento de la empresa y el costo es menor a medida que aumenta y mejora la conservación de los equipos; el tiempo de trabajo del equipo como la atención que este requiere influyen de forma directa. Este costo comprende:

- Costo de mano de obra directa.
- Costos de materiales y repuestos.
- Costos de la utilización de herramientas y equipos.
- Costos asociados directamente a la ejecución de trabajos: consumo de energía, alquiler de equipos, etc.

#### 8.2. Costos indirectos

Son aquellos que no pueden atribuirse de una manera directa a una operación o trabajo específico. En mantenimiento, es el costo que no puede relacionarse a un trabajo específico. Por lo general suelen ser: la supervisión, almacén, instalaciones, servicio de taller, accesorios diversos, administración, etc.

Con el fin de contabilizar los distintos costos de operación del área de mantenimiento, es necesario utilizar alguna forma para prorratearlos entre los diversos trabajos, así se podrá calcular una tasa de consumo general por hora de trabajo directo, dividiendo este costo por el número de horas totales de mano de obra de mantenimiento asignadas.

#### 8.3. Costos Globales

El **costo global o total de mantenimiento** es el conjunto de los siguientes costos:

#### Costos Fijos: (Mantenimiento Preventivo y/o Predictivo)

La característica de este tipo de costos es que estos son independientes del volumen de producción o de ventas de la empresa, estos como su nombre lo dice son fijos, dentro de este tipo de costos podemos destacar la mano de obra directa, los alquileres, seguros, servicios, etc. Este costo se emplea para disminuir las pérdidas de tiempo en la línea de producción como para disminuir los gastos en arreglos a futuro. El mantenimiento continuo asegura una mayor vida útil en las maquinarias.

#### • Costos Variables: (Mantenimiento Correctivo)

Estos costos tienen la particularidad de ser proporcionales a la producción realizada. Podemos destacar dentro de estos a algunos costos como mano de obra indirecta, materia prima, energía eléctrica, además de los costes variables que incluyen el mantenimiento.

La manera de reducir este tipo de gasto es mejorar y/o aumentar el mantenimiento preventivo.

#### • Costos Financieros: (Repuestos y maquinarias de reemplazo)

Los costos financieros asociados al mantenimiento se deben tanto al valor de los repuestos de almacén como a las amortizaciones de las máquinas duplicadas para asegurar la producción. El costo que supone los recambios de un almacén para realizar reparaciones, es un desembolso para la empresa que limita su liquidez. Si los recambios son utilizados con cierta frecuencia nos encontraremos con un mal menor, dado a que esto es una inversión que hace la empresa para mantener la capacidad productiva de la instalación. Sin embargo, cuando los recambios tardan mucho tiempo en ser utilizados, estamos incurriendo en un gasto que, en principio, no genera ningún beneficio para la empresa.

En determinadas circunstancias que se obliga a una disponibilidad total, es necesario montar en paralelo una máquina similar que permita la reparación de una de ellas mientras la otra está en funcionamiento. El coste de esta duplicidad puede olvidarse en el cómputo de los gastos de mantenimiento, pero debe tenerse en cuenta dado que el motivo de su presencia es el aumento de la disponibilidad y este concepto es responsabilidad de mantenimiento.

#### Costos De Fallo:

El coste de fallo se refiere al coste o pérdida de beneficio que la empresa soporta por causas relacionadas directamente con el mantenimiento.

Este concepto no suele tenerse en cuenta cuando se habla de los gastos de mantenimiento, pero su volumen puede ser incluso superior a los gastos tradicionales, costos fijos, costos variables y financieros. Este concepto es aplicable tanto a empresas productivas como a empresas de servicios.

En las empresas productivas los costes por fallo en los equipos se deben principalmente a:

• Pérdidas de materia prima.

- Descenso de la productividad del personal mientras se realizan las reparaciones.
- Pérdidas energéticas por malas reparaciones o por no ser realizadas.
- Rechazo de productos por mala calidad.
- Producción perdida durante la reparación, menores ventas, menores beneficios.
- Averías medioambientales que pueden suponer desembolsos importantes.
- Averías que puedan suponer riesgo para las personas o para la instalación.
- Pérdidas de imagen, ventas, etc.

A los costos que pueden generar estos hechos, se debe sumar el importe de las reparaciones para volver a la normalidad. Si comparamos los costos de mantenimiento, los costos fijos vienen a ser mínimos comparados con los costos variables y los costos de fallos.

En el caso de las empresas de servicios al no existir producción de materiales el coste de fallo de producción no tiene predominancia, pero aun así no es menos importante, se relaciona con otros aspectos, como por ejemplo con la pérdida de clientes.

Aunque existe un costo que se encuentra dentro del costo de fallo, **Costos de Tiempos Perdidos**. Son aquellos que aunque no están relacionados directamente con mantenimiento pero si están originados de alguna forma por éste; tales como:

- Paros de producción.
- Baja efectividad.
- Desperdicios de material.
- Mala calidad.
- Entregas en tiempos no prefijados (demoras).
- Pérdidas en ventas, etc.

Una buena inversión en mantenimiento no es un gasto sino una potencial fuente de utilidades. Las utilidades son máximas cuando los costos de producción son óptimos. Existe una relación que deben tener entre los costos de mantenimiento y los beneficios que estos brindan, se calcula un coeficiente entre costo-beneficio y se suman:

$$Cg = Ci + Cf + Ca + Csi$$

#### donde:

- Coeficiente de Costo de las intervenciones (Ci)
- Coeficiente de Costo de las fallas (Cf)
- Coeficiente de Costo de almacenamiento y servicios (Ca)
- Coeficiente de Costo de sobre-inversiones (Csi)
- Coeficiente de Costo General o Global (Cg)

\*Estos coeficientes se calculan entre el costo de mantenimiento y la utilidad que produce cada uno; cada uno es la suma de los diferentes tipos de costos mencionados anteriormente.

#### 8.4. Cómo reducir los costos

- Desarrollar la función de Mantenimiento en forma eficaz, y medir su desempeño en base a los costos totales de la empresa y su efecto directo en las ganancias.
- Armonizar y adoptar medidas para que las labores de mantenimiento puedan realizarse con una afectación mínima de las operaciones, añadiendo valor a esta actividad y cumpliendo con el objetivo trazado. Planificando y reduciendo los tiempos de mantenimiento. También se debe analizar con un sistema de programación la ruta crítica del proyecto, identificando las tareas cuyos tiempos inciden directamente en el tiempo total del cierre programado. Además buscando información y alternativas creativas que reduzcan este tiempo a su mínima expresión. Y una vez terminado el mantenimiento, realizar una reunión de autocrítica para examinar qué cosas pudieron haberse hecho mejor, teniendo esto en cuenta para futuros mantenimientos.
- Hacer los trabajos de mantenimiento que consumen mucho tiempo, si es posible, fuera del cierre programado. Usando por ejemplo uno o varios equipos de repuesto. Luego del cierre programado, provea el mantenimiento al equipo removido y téngalo preparado en caso de necesidad.
- Analizar cada uno de los trabajos de mantenimiento para ver qué dificultades se confrontan. Si amerita, proveer accesos adicionales, mejorar las instalaciones para trabajar más rápido y mejor, o para que puedan trabajar varias cuadrillas simultáneamente, o para no requerir la utilización de grúas o equipos pesados.
- Realizar pre-inspecciones durante cierres parciales cortos o durante cierres no programados, y recolectar información en cuanto a equipos o componentes levemente averiados que eventualmente requerirán mantenimiento o reemplazo. Esta información es ventajosa, ya que permite planificar mejor los mantenimientos programados, de tal forma que las compras de refacciones y la apropiada asignación de recursos se haga con la debida anticipación, evitando demoras.
- En la búsqueda de soluciones permanentes a problemas eternos, analizar la causa raíz, investigar los modos probables de falla, rediseñar e implementar mejoras para evitar esos modos de falla. Y de ser necesario rediseñar el componente, el conjunto de componentes, el sistema, o el proceso con problemas.

- Al prevenir fallas, el objetivo es no hacer en lugar de hacer, y así ir reduciendo los requerimientos y costos de mantenimiento.
- Insistir en que las nuevas adquisiciones y modificaciones a sistemas existentes se diseñen para que no se requieran precauciones especiales o difíciles de seguridad, o de prevención de la contaminación ambiental, etc., lo cual representa costos operativos.
- Proveer buen acceso a los componentes para facilitar su eventual remoción o mantenimiento. Y en el caso de los componentes de mayor desgaste, diseñar para que sean fácilmente reemplazables, sin uso de equipo especial, en tiempos mínimos, con menos personal, a un menor costo.
- Programar el reemplaA diferencia de los tipos de mantenimientos nombrados anteriormente, el mantenimiento óptimo no forma parte de una categoría, sino que consiste en métodos de aplicación y combinación de todos los tipos de mantenimiento para lograr una aplicación lo más eficiente posible.
- Podríamos decir que el mantenimiento óptimo es, preguntarse ¿Qué sistema de mantenimiento es el ideal? Y la respuesta a esto va a depender de cada caso a la hora de incorporar un sistema de mantenimiento.
- En la mayoría de los casos se relaciona esta manera de optimización con el mantenimiento proactivo o de confiabilidad, y en muchos textos se lo ve fuertemente ligado al mantenimiento de confiabilidad o RCM.
- zo de los equipos críticos que no tienen piezas de repuesto. En los casos no críticos, continúe utilizándolos hasta que fallen, siempre y cuando una falla del componente no ocasione daños, y no afecte las operaciones.
- Al momento de realizar compras, mantener la uniformidad de los equipos y componentes. Esto facilita el mantenimiento y permite reducir los requerimientos de capacitación del personal de mantenimiento y las cantidades de repuestos en bodega, reduciendo considerablemente los costos de almacenaje e inventario. Además se deben revisar cuidadosamente los procedimientos de compra de equipos críticos.
- Cuando sea posible, emplear materiales y equipos más duraderos o con valor agregado, teniendo siempre presente el factor económico, y la rentabilidad de la inversión. Justificando toda inversión adicional en base a la reducción en costos de mantenimiento y una mayor confiabilidad o disponibilidad del equipo de producción.

# 9. <u>Mantenimiento Óptimo y las Curvas de</u> <u>Mantenimiento.</u>

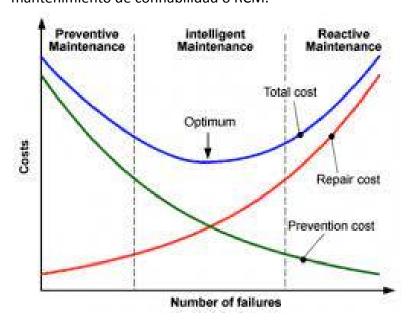
# 9.1. ¿Qué se entiende por mantenimiento óptimo?

A diferencia de los tipos de mantenimientos nombrados anteriormente, el mantenimiento óptimo no forma parte de una categoría, sino que consiste en métodos de aplicación y combinación de todos los tipos de mantenimiento para lograr una aplicación lo más eficiente posible.

es una mezcla en su mayoría de mantenimiento preventivo con mantenimiento correctivo que tiene su base en un análisis en tiempo real, se busca la menor cantidad posible de mantenimiento reactivo, para minimizar costos, esto también implica que el mantenimiento preventivo no será excesivo, ya que se confiara en sensores y controladores para el monitoreo del activo.

Podríamos decir que el mantenimiento óptimo es, preguntarse ¿Qué sistema de mantenimiento es el ideal? Y la respuesta a esto va a depender de cada caso a la hora de incorporar un sistema de mantenimiento.

En la mayoría de los casos se relaciona esta manera de optimización con el mantenimiento proactivo o de confiabilidad, y en muchos textos se lo ve fuertemente ligado al mantenimiento de confiabilidad o RCM.

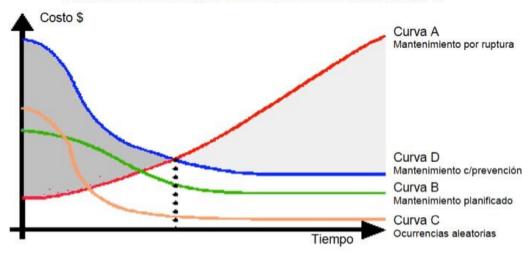


Hacer un mantenimiento óptimo o inteligente consiste en:

- minimizar el mantenimiento reactivo
- optimizar el mantenimiento preventivo
- dirigir el mantenimiento predictivo al monitoreo por condición
- criticidad del equipo dentro de la línea de producción
- costos y el tiempos de reparación del equipo

Podríamos resumir una parte de esto en la siguiente ecuación.

#### COSTO DE MANTENIMIENTO CON RELACION AL TIEMPO



$$Ct = \frac{Cmp + n*Ca}{t}$$

donde:

 ${\it Ct}$  : Coste de mantenimiento por unidad de tiempo

 ${\it Cmp}$ : Coste de mantenimiento preventivo

 $oldsymbol{n}$ : Número de averías en un periodo de tiempo t

Ca: Coste de averías

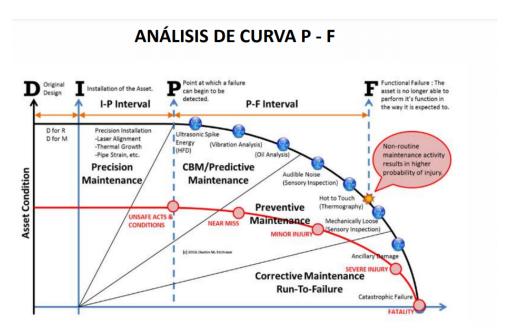
Para tener un mantenimiento óptimo debemos minimizar el coste de mantenimiento por unidad de tiempo

#### 9.2. Pasos para realizar un mantenimiento óptimo

Lo primero que debe hacerse es un análisis exhaustivo sobre los equipos a mantener, evaluando la criticidad dentro de la línea productiva, el costo y tiempo de reparación y cómo esto se refleja en la parada de planta, en el caso de ser necesaria.

Dependiendo de la criticidad sabremos qué clase de mantenimiento será el adecuado para cada equipo, dando lugar a un buen aprovechamiento del tiempo y a un mayor rendimiento económico, eliminando trabajos innecesarios.

En los equipos críticos por alta incidencia en el proceso productivo, estudiaremos las medidas a tomar de cara a un mantenimiento predictivo y poder minimizar las intervenciones, rutas de inspección, toma y monitorización de datos, etc.



Si un equipo es de difícil acceso para su sustitución o tiene un coste alto de reparación, nos tendremos que plantear si necesita un preventivo o si podemos utilizar alguna herramienta de predictivo para minimizar intervenciones.

En los equipos de bajo coste y baja influencia en la línea productiva, podemos simplemente limitarnos a un correctivo, llegado el momento en el cual el equipo falle se sustituye, siendo el coste de reparación o de sustitución menor que el de mantenimiento.

También se puede involucrar al departamento de producción en las tareas de mantenimiento con un sistema TPM, en función de la carga de trabajo se verá la necesidad del nivel de implementación, pero las pequeñas tareas pueden ser asumidas perfectamente y ofrecerá unos buenos resultados a la hora de detectar y evitar averías, el personal de

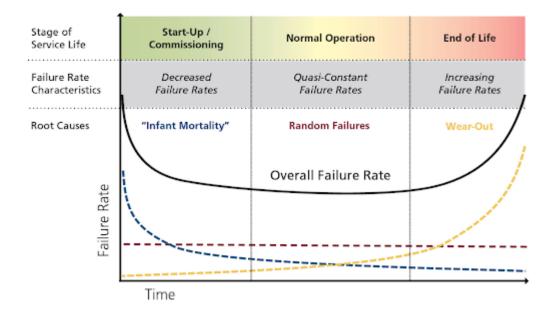
producción es el que mejor conoce el funcionamiento de los equipos y el que puede prevenir las averías más fácilmente.

A continuación diseñamos un cuadro con los distintos métodos para medir y mejorar los tiempos:

MÉTODOS PARA LA MEJORA DE LOS RENDIMIENTOS INDIVIDUALES DE MANTENIMIENTO						
MÉTODO	CLASE DE TRABAJO	EJEMPLOS				
Cronometraje	Trabajos repetitivos de duración media	<ul><li>Cambios de aceite</li><li>Revisiones sistemáticas</li><li>Pintura</li></ul>				
Tiempos predeterminados	Trabajos repetitivos de corta duración	<ul><li>Reengrasado</li><li>Limpiezas técnicas</li></ul>				
Estimación de tiempos globales	Trabajos correctivos poco repetitivos o actividades mejorativas	<ul><li>Averías</li><li>Reformas o modificaciones</li></ul>				
Observaciones instantáneas	Trabajos no muy repetitivos de larga duración	<ul><li> Grandes revisiones</li><li> Cambios de tuberías</li></ul>				
Cambio de condiciones de trabajo	Nuevos procesos y métodos de primera implantación	<ul> <li>Absorción de nuevas actividades</li> <li>Automatización de operaciones manuales</li> </ul>				

En todos los casos es conveniente el consenso y la utilización de curvas de aprendizaje

#### 9.3. Curva de la bañera



La llamada curva de la bañera permite determinar la "vida útil" o funcionamiento óptimo de un activo, a la vez que como y cuando debe realizarse mantenimiento.

Principalmente se busca prolongar la vida útil y disponibilidad a expensas de el menor mantenimiento posible, en otras palabras optimizar.

#### 9.3.1. **Etapas**:

La fase de puesta a punto de un equipo se caracteriza por la cantidad de averías mayor a la que se ha estipulado como normal durante el uso del mismo. Este periodo se denomina mortalidad infantil y va decreciendo a medida que va pasando el rodaje inicial, aquí se comienzan a implementar las primeras modificaciones.

Luego de esto aparece un periodo aproximadamente constante y dilatado en el que la probabilidad de fallos o número de averías mantiene su frecuencia y donde éstos tienen lugar de manera aleatoria y sin causalidad claramente definida.

Pasada la etapa de vida útil, donde el equipo técnico poco puede hacer para anticiparse a las fallas, aparece un aumento paulatino de averías que son asimilados al desgaste, deterioro por fatiga y todo tipo de eventos mecánicos ligados al paso del tiempo. No todos los activos llegan necesariamente a este fin, porque algunos dejan de utilizarse antes de desgastarse es por esto que el último tramo de ella ha dejado de ser fiable con el pasar de los años y la aparición de nuevas tecnologías dado que la gran mayoría de los mecanismos componentes de los equipos han evolucionado.

#### 9.3.2. Causas de fallos:

- "Mortalidad infantil": Se deben a problemas de diseño, errores de instalación, componentes inadecuados o falta de control de calidad. Para reducir esta zona se implementa principalmente un mantenimiento correctivo, ya que este es el que se implementa cuando sucede una avería y restaura el activo para dejarlo nuevamente en condiciones.
- "Vida útil": los fallos aleatorios son producidos por errores humanos, abuso del activo, fallas naturales, daños accidentales entre otros. En esta etapa al ser fallos aleatorio. Durante la vida útil del activo, recomendamos que siga las recomendaciones del fabricante para las revisiones periódicas. La mejor estrategia de mantenimiento para un activo maduro es el mantenimiento preventivo, o, si la operación está preparada para ello, el mantenimiento predictivo, con el fin de predecir cuándo se producirá una inflexión de la curva.
- "Desgaste": La tasa de fallos aumenta debido al envejecimiento del equipo, con reparaciones cada vez más costosas y mayores riesgos de seguridad.

Los conceptos previamente desarrollados de las etapas de la vida de un activo son importantes para el mantenimiento óptimo, el haber analizado y recopilado datos de fallas y funcionamiento permite tanto una mejora en el mantenimiento preventivo como en el reactivo.

#### 9.4. Conclusión

Debemos revisar la propia organización en sí y plantear qué mejoras deben efectuarse para optimizar sus sistemas de planificación, sus sistemas de control de actividades, su capacidad para hacer reingeniería de procesos, así como para implantar nuevas técnicas y métodos entre los que hay que contemplar la externalización de actividades en las que no somos competitivos.

Entonces para saber si estamos satisfechos con nuestra organización debemos preguntarnos: ¿qué mejoras de la productividad deben plantearse y abordarse basadas en la optimización de los rendimientos de los agentes que componen los recursos humanos del Departamento?

# 10. Bibliografía y Fuentes de Referencia

Universitat Politècnica de Valencia. PROYECTO DE IMPLANTACIÓN DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO ASISTIDO POR ORDENADOR PARA UN EDIFICIO DE EDUCACIÓN. Proyecto de implantación de la gestión del mantenimiento asistido por ordenador para un edificio de educación (upv.es)

Escuela Universitària Politècnica de Mataró. Centro adscrito a la Universitat Politècnica de Catalunya. Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones: Especialidad Telemática. DESARROLLO DE UN SOFTWARE DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ASISTIDO POR ORDENADOR (GMAO) PARA PYMES. Desarrollo de un software de gestión de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO) para pymes (upc.edu)

Santiago García, Director Técnico de RenoveFree. (244) GMAO POR QUÉ UTILIZAR UN SOFTWARE DE MANTENIMIENTO - YouTube

SOFTWARE AEROMARINE. ¿Qué es un GMAO? - YouTube

Garrido, S. G. (s. f.). *Tipos de Mantenimiento*. renovetec. Recuperado 23 de junio de 2021, <a href="http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento">http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento</a>

¿Qué diferentes tipos de mantenimiento existen en una empresa? (2021, 21 abril). Eurofins Envira. https://envira.es/es/diferentes-tipo-de-mantenimiento-existen-empresa/

Mantenimiento preventivo y correctivo: ¿en qué se diferencian? (2021, 26 febrero). Eurofins Envira. <a href="https://envira.es/es/mantenimiento-preventivo-y-correctivo">https://envira.es/es/mantenimiento-preventivo-y-correctivo</a>

Machado, P. (2021, 1 junio). ¿Cuáles Son Los Diferentes Tipos de Mantenimiento? [2021]. Infraspeak Blog. https://blog.infraspeak.com/es/tipos-de-mantenimiento/

Mantenimiento inteligente. (s. f.). Wikipedia. en.wikipedia.org/wiki/Intelligent maintenance system

The Impact of Equipment Reliability on Human Safety. (s.f.).

.https://www.linkedin.com/pulse/impact-equipment-reliability-human-safety-dustin-m-etchi
son-cmrp/

Más allá de la Curva P-F. (s. f.). predictiva. https://predictiva21.com/curva-p-f-mantenimiento-proactivo/

Ingeniería de mantenimiento. (s. f.). Ingeniería del mantenimiento. http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/5-la-ingenieria-del-mantenimiento

El Caso de Negocio para la Integridad de los Datos (s. f). <a href="https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-caso-de-negocio-para-la-integridad-de-los-da">https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-caso-de-negocio-para-la-integridad-de-los-da tos</a>

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) Mg. Ing. Kenny Alberto Melendres Quispe (s. f.). <a href="https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5908/4/MP MC Mantenim">https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5908/4/MP MC Mantenim</a> iento centrado en confiabilidad Docente Kenny Melendres.pdf

Energiza. (s. f.). Principios de mantenimiento industrial. <a href="http://www.energiza.org/index.php?option=com\_k2&view=item&id=580:principios-de-mantenimiento-industrial-y-de-instalaciones">http://www.energiza.org/index.php?option=com\_k2&view=item&id=580:principios-de-mantenimiento-industrial-y-de-instalaciones</a>

infraspeak. (s. f.). Curva de la bañera. https://blog.infraspeak.com/es/la-curva-de-la-banera/

*infraspeak.* (s. f.). Indicadores de mantenimiento. <a href="https://blog.infraspeak.com/es/indicadores-de-mantenimiento/">https://blog.infraspeak.com/es/indicadores-de-mantenimiento/</a>

infraspeak. (s. f.). *Mantenimiento centrado en la fiabilidad*. https://blog.infraspeak.com/es/mantenimiento-centrado-en-la-fiabilidad-rcm/

Ingeniería de Confiabilidad; Pilar Fundamental del Mantenimiento. (s. f.). <a href="https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/ingenieria-de-confiabilidad-pilar-fundamental-de-mantenimiento">https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/ingenieria-de-confiabilidad-pilar-fundamental-de-mantenimiento</a>

https://www.webyempresas.com/que-son-los-costos-de-mantenimiento/

Lourival Augusto Tavares, Administración Moderna del Mantenimiento: <a href="https://predictiva21.com/administracion-moderna-mantenimiento-indice/">https://predictiva21.com/administracion-moderna-mantenimiento-indice/</a>

https://teoriadeinventarios.blogspot.com/

https://www.monografias.com/trabajos94/costos-mantenimiento-y-parada-planta/costos-mantenimiento-y-parada-planta.shtml