

R



CORPORACIÓN
UNIVERSITARIA
REMINGTON
RES. 2661 MEN JUNIO 21 DE 1996

FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES LOE (Líneas de Orientación Específica)

Optativa II parte A Asignatura: Mantenimiento

Dirección de Educación a Distancia y Virtual

Este material es propiedad de la Corporación Universitaria Remington (CUR),
para los estudiantes de la CUR en todo el país.

2012

CRÉDITOS



El módulo de estudio de la asignatura Mantenimiento LOE (Líneas de Orientación Específica) Optativa II parte A es propiedad de la Corporación Universitaria Remington. Las imágenes fueron tomadas de diferentes fuentes que se relacionan en los derechos de autor y las citas en la bibliografía. El contenido del módulo está protegido por las leyes de derechos de autor que rigen al país.

Este material tiene fines educativos y no puede usarse con propósitos económicos o comerciales.

AUTOR

Laura Marcela Trujillo Vargas

Ingeniera Agroindustrial
Especialización en Biotecnología
Diplomado en Gerencia de Proyectos
Jefe de Producción – Adimix de Colombia
lauramtrujillo@hotmail.com
Skipe: lauramtrujillov

Nota: el autor certificó (de manera verbal o escrita) No haber incurrido en fraude científico, plagio o vicios de autoría; en caso contrario eximió de toda responsabilidad a la Corporación Universitaria Remington, y se declaró como el único responsable.

RESPONSABLES

Dra. Doralhina Jaramillo Ossa

Vicedecana de la Facultad de Administración
administracion.vicedecano@remington.edu.co

Tomás Vásquez Uribe

Director (e) Educación a Distancia y Virtual
distancia.coordinadorcat@remington.edu.co

Angélica Ricaurte Avendaño

Coordinadora de Remington Virtual (CUR-Virtual)
mediaciones.coordinador01@remington.edu.co

GRUPO DE APOYO

Personal de la Unidad de Remington Virtual (CUR-Virtual)

EDICIÓN Y MONTAJE

Primera versión. Febrero de 2011. Segunda versión Marzo 2012

Derechos Reservados



Esta obra es publicada bajo la licencia Creative Commons. Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual 2.5 Colombia.

TABLA DE CONTENIDO

1. MAPA DE LA ASIGNATURA.....	9
2. SISTEMAS DE MANTENIMIENTO.....	10
2.1. Relación de conceptos	11
2.2. Prueba inicial.....	12
2.3. Fundamentos de mantenimiento	12
2.3.1. Conceptos básicos de mantenimiento industrial.....	12
2.3.2. Conceptos relacionados con el mantenimiento	12
2.3.3. Historia del mantenimiento industrial.....	14
2.3.4. Objetivo del mantenimiento.....	15
2.3.5. Manual de mantenimiento de equipos.....	17
2.3.6. Contenido básico de un manual de mantenimiento de equipos.....	18
2.4. Operación y control del mantenimiento.....	23
2.4.1. Introducción a la operación y control del mantenimiento	23
2.4.2. La orden de trabajo de mantenimiento.....	24
2.4.3. Estructura del control del mantenimiento.....	26
2.5. Avances en los conceptos de mantenimiento	28
2.5.1. Diseño de la factibilidad del mantenimiento	29
2.5.2. Mantenimiento centrado en la confiabilidad	29
3. TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	35
3.1. Relación de conceptos	35
3.2. Prueba inicial.....	36
3.3. Mantenimiento preventivo.....	36
3.3.1. Conceptos básicos de mantenimiento preventivo.....	36
3.4. Mantenimiento correctivo	42
3.4.1. Conceptos básicos de mantenimiento correctivo.....	42
3.4.2. Tipos de mantenimiento correctivo.....	43
3.5. Mantenimiento predictivo	46

3.5.1. Conceptos básicos de mantenimiento predictivo.....	46
3.5.2. implementación del mantenimiento predictivo	48
3.5.3. Métodos de seguimiento de actividades.	49
3.6. Mantenimiento productivo total	51
3.6.1. Conceptos generales del mantenimiento productivo total	51
4. PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO	55
4.1. Relación de conceptos	55
4.2. Prueba inicial.....	56
4.3. Planeación del mantenimiento	56
4.3.1. Concepto de planeación de mantenimiento.....	56
4.3.2. Actividades de planeación del mantenimiento.....	57
4.4. Programación del mantenimiento	59
4.4.1. Concepto de programación del mantenimiento.....	59
4.4.2. Elementos de la programación de mantenimiento	60
4.5. Control de las actividades de mantenimiento	67
4.5.1. Auditoria del mantenimiento.....	67
5. PISTAS DE APRENDIZAJE	82
6. GLOSARIO	83
7. BIBLIOGRAFÍA.....	84

1. MAPA DE LA ASIGNATURA

MANTENIMIENTO

PROPÓSITO GENERAL DEL MÓDULO

El objetivo de esta asignatura es presentar el mantenimiento como un sistema que requiere planeación, ejecución y control para alcanzar las metas propuestas en producción. Además dar conocimientos, desarrollar destrezas y habilidades en las tareas propias de un programa de mantenimiento, con el fin de aumentar la productividad y reducir costos operacionales.

OBJETIVO GENERAL

Formar estudiantes con capacidad para la planeación, organización, programación y dirección de los procesos de mantenimiento en los sectores productivos y de servicios, desarrollando capacidades que le permitan el afrontamiento de los retos de las organizaciones actuales, estando siempre comprometidos con la conservación del medio ambiente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✘ Comprender los conceptos básicos de mantenimiento para aplicarlos en el diseño, ejecución y control de los sistemas de mantenimiento utilizados en las industrias de bienes y servicios.
- ✘ Conocer los diferentes tipos de mantenimiento, proporcionando herramientas de identificación y aplicación de cada uno de ellos, para la reducción de gastos y tiempos en los sistemas de producción.
- ✘ Desarrollar y programar planes de mantenimiento que sean solución de los problemas de las empresas en el área de mantenimiento industrial, aplicando herramientas de control que mejoren la condición de los equipos y sistemas del proceso productivo.

UNIDAD 1

SISTEMAS DE
MANTENIMIENTO

UNIDAD 2

TIPOS DE
MANTENIMIENTO

UNIDAD 3

PLANEACIÓN Y
PROGRAMACIÓN DEL
MANTENIMIENTO

2. SISTEMAS DE MANTENIMIENTO

Mantenimiento industrial.

<http://www.youtube.com/watch?v=0ZWiNOVBirc>

<http://www.youtube.com/watch?v=ytaEzt928Cc>

http://www.youtube.com/watch?v=u_-YVb1IHHU



2.1. Relación de conceptos

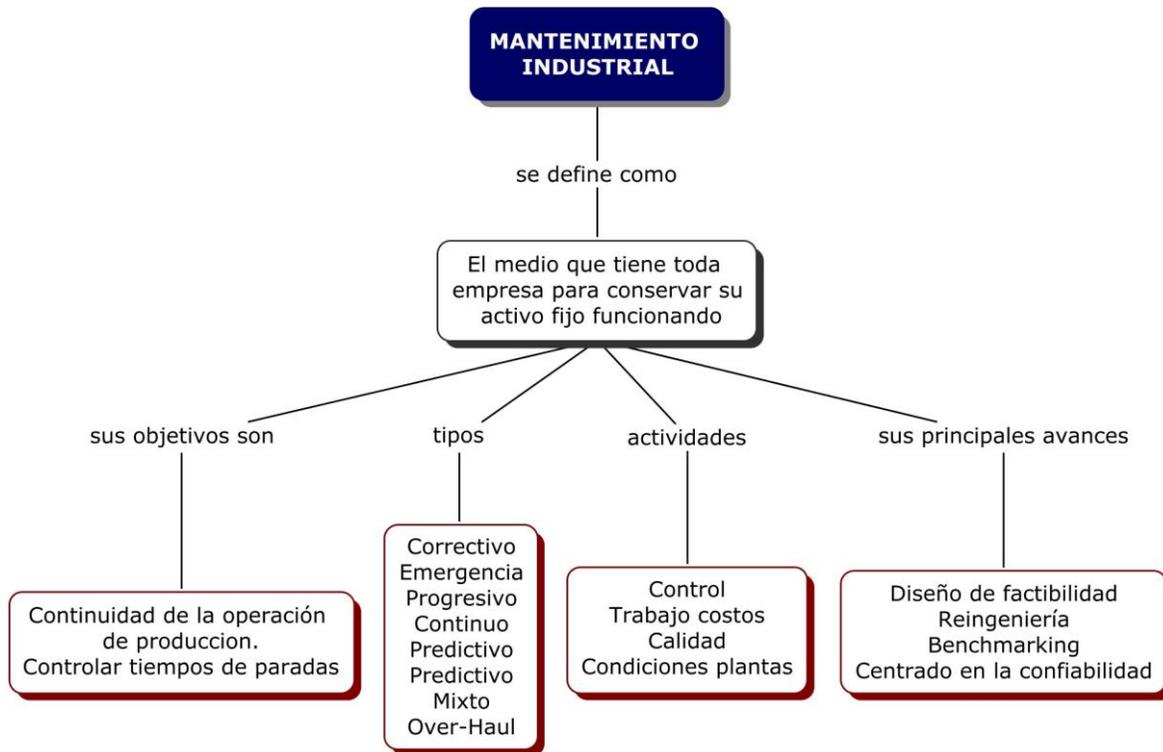


Figura 1. Mapa conceptual mantenimiento

Figura elaborada por la Ingeniera Agroindustrial Laura Marcela Trujillo Vargas

OBJETIVO GENERAL

Comprender los conceptos básicos de mantenimiento para aplicarlos en el diseño, ejecución y control de los sistemas de mantenimiento utilizados en las industrias de bienes y servicios.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✘ Aprender los conceptos fundamentales del mantenimiento, reconocer su importancia y los principales objetivos.
- ✘ Identificar las operaciones que se realizan durante el mantenimiento, entender su importancia en el desarrollo de las tareas de mantenimiento industrial.

- ✘ Conocer algunos avances en los conceptos de mantenimiento, con el propósito de fomentar la investigación de nuevas formas de realizar mantenimiento efectivo en las empresas.

2.2. Prueba inicial

1. ¿Qué es el mantenimiento industrial y qué papel desempeña en las tareas de producción?
2. Mencione los tipos de mantenimiento y en caso pueden ser aplicados.

2.3. Fundamentos de mantenimiento

2.3.1. Conceptos básicos de mantenimiento industrial

El mantenimiento “son todas las actividades que deben ser desarrolladas en orden lógico, con el propósito de conservar en condiciones de funcionamiento seguro, eficiente y económico los equipos de producción, herramientas y demás propiedades físicas de las diferentes instalaciones de una empresa”. (García, 2006).

El mantenimiento es el medio que tiene toda empresa para conservar operable con el debido grado de eficiencia y eficacia su activo fijo. Es el conjunto de actividades necesarias para:

- ✘ Mantener una instalación o equipo en funcionamiento
- ✘ Restablecer el funcionamiento del equipo en condiciones predeterminadas

2.3.2. Conceptos relacionados con el mantenimiento

- ✘ **Mantenibilidad:** se refiere a las propiedades de diseño, análisis, predicción y demostración que ayudan a determinar la efectividad con la que un equipo puede ser mantenido o restaurado para estar en condiciones de uso u operación. “La mantenibilidad es conocida también como la capacidad para restaurar efectivamente un producto” (http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/alarcon_g_jm/capitulo3.pdf). La efectividad del mantenimiento es empleada para medir la mantenibilidad, y es un indicador útil para compara equipos. Se calcula de la siguiente forma:

$$Efectividad = \frac{Uso\ actual\ del\ equipo}{Esfuerzo\ requerido\ para\ el\ mantenimiento}$$

Las unidades seleccionadas dependen del tipo de equipo y un parámetro puede ser: horas de operación por horas de mantenimiento.

- ✘ Confiabilidad: se puede definir como “la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin fallos durante un tiempo determinado, en unas condiciones ambientales dadas” (<http://imagenes.mailxmail.com/cursos/pdf/5/mantenimiento-industrial-2-3-32795-completo.pdf>). Para evaluar la fiabilidad se usan dos procedimientos:
 - a. Emplear datos históricos.
 - b. Usar la fiabilidad conocida de partes para calcular la fiabilidad del conjunto. Se emplea para hacer evaluaciones de fiabilidad antes de conocer resultados reales.

La planificación de la fiabilidad requiere la comprensión de:

- a. Cuantificación de la fiabilidad en términos de probabilidad
- b. Clara definición de lo que es buen funcionamiento
- c. Ambiente en que el tiempo ha de funcionar
- d. Tiempo requerido del funcionamiento entre fallos.

La confiabilidad de un equipo o producto esta dada por la siguiente expresión:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Donde:

R(t): es la confiabilidad de un equipo en un tiempo (t) dado

λt : Tasa de fallas (numero total de fallas por periodo de operación)

- ✘ Disponibilidad: es la confianza de que un componente o sistema que fue sometido a mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. Esta dada por la siguiente ecuación:

$$D(t) = \frac{\sum Tiempos\ disponibles\ para\ la\ producción}{\sum Tiempos\ disponibles\ para\ la\ producción + \sum Tiempos\ en\ mantenimiento}$$

Donde los tiempos en mantenimiento están dados por:

- a. La facilidad del equipo o sistema para realizar el mantenimiento

- b. La capacitación del personal encargado del mantenimiento
 - c. Las características de la organización y la planificación del mantenimiento.
-
- ✘ Tiempo promedio para fallar (MTTF): este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro de un periodo considerado.
 - ✘ Tiempo promedio para reparar (MTTR): es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema.
 - ✘ Tiempo promedio entre fallas (MTBF): indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y aparición de una falla, es decir, el tiempo transcurrido hasta la llevada del evento falla. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del equipo.

2.3.3. Historia del mantenimiento industrial

El término "mantenimiento" se empezó a utilizar en la industria hacia 1950 en Estados Unidos. En Francia se fue imponiendo progresivamente el término "entretenimiento"

Se pueden distinguir cuatro generaciones en la evolución del concepto de mantenimiento:

- ✘ Primera generación: abarca desde la revolución industrial hasta después de la segunda guerra mundial. Se desarrolla el mantenimiento correctivo y aun este tipo de programa de mantenimiento aun se aplica en muchas industrias.
- ✘ Segunda generación: entre la segunda guerra mundial y finales de los años setenta. Se descubre la relación entre la edad de los equipos y la probabilidad de fallo. Se comienzan a realizar sustituciones preventivas (Mantenimiento preventivo)
- ✘ Tercera generación: surge a principios de los años ochenta. Se comienzan a realizar estudios causa efecto para averiguar sobre el origen de las fallas. Más tarde se conoce como mantenimiento predictivo para actuar antes de que las consecuencias sean inadmisibles. El departamento de producción comienza a involucrarse en las tareas de detección de fallas.
- ✘ Cuarta generación: aparece en los años noventa y se desarrolla el concepto de mantenimiento basado en el riesgo, identificando al mantenimiento como una fuente de beneficios, frente al antiguo concepto de mantenimiento como "mal necesario". La posibilidad de que una maquina falle y las consecuencias asociadas para la empresa es un riesgo que hay que gestionar, buscando la disponibilidad necesaria en cada caso al coste mínimo.

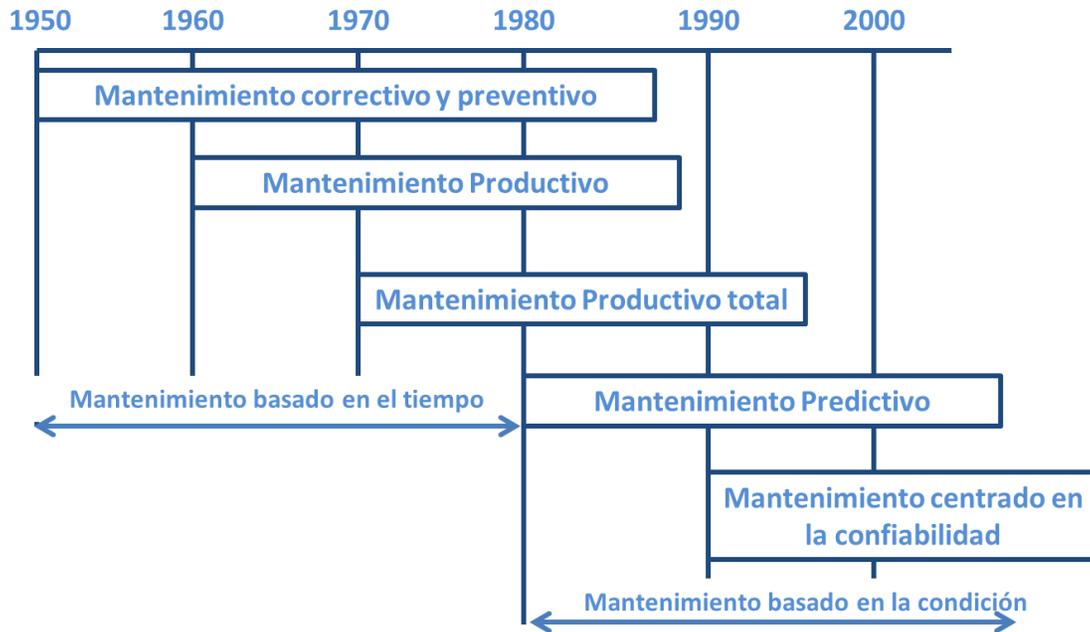


Figura 2. Evolución de los tipos de mantenimiento
 Figura elaborada por la Ingeniera Agroindustrial Laura Marcela Trujillo Vargas

2.3.4. Objetivo del mantenimiento

El principal objetivo del mantenimiento es asegurar la disponibilidad planeada al menor costo dentro de las recomendaciones de garantía y uso de los fabricantes de los equipos e instalaciones y normas de seguridad. Para esto el mantenimiento actúa sobre:

- ✘ La continuidad de la operación de producción, es decir la confiabilidad que se mide por el tiempo medio entre fallas consecutivas.
- ✘ El tiempo de paradas cuando estas se producen. El tiempo de paradas incluye el tiempo efectivo de reparación que esta determinado por factores como el diseño, disponibilidad de herramientas y la destreza y capacitación del personal.

2.3.4.1 Clasificación de los sistemas de mantenimiento

La existencia de una gran cantidad de industrias con diferentes características, ha determinado la necesidad de una clasificación industrial del mantenimiento, que se expone a continuación:

- ✘ Mantenimiento correctivo: son las actividades realizadas en los equipos que han fallado con la finalidad de recuperar sus condiciones de funcionamiento normal.
- ✘ Mantenimiento de emergencia: son los trabajos surgentes y costosos que se llevan a cabo en equipos de producción vitales, cuya falla ocasiona la interrupción de la producción y tiene por objeto la recuperación de la calidad del servicio de la manera mas rápida, eficiente y segura.
- ✘ Mantenimiento progresivo: permite proporcionar el mantenimiento al equipo por etapas, aprovechando el tiempo en que no esta prestando servicio.
- ✘ Mantenimiento continuo: trabajos ejecutados en forma permanente y estable al equipo con un nivel óptimo, siendo estos o no necesarios. Se basa en el concepto de que mientras mejor atendida este el equipo, su funcionamiento será más eficiente.
- ✘ Mantenimiento preventivo: es el conjunto de actividades que permiten en forma económica, la operación segura y eficiente de un equipo, con tendencia a evitar las fallas imprevistas. Son trabajos programados sistemáticamente con anticipación.
- ✘ Mantenimiento predictivo: actividades que permiten detectar fallas por revelación antes que sucedan, usando equipos para el diagnostico y pruebas no destructivas. Es el sistema de mantenimiento permanente que se realiza durante el funcionamiento de los equipos.
- ✘ Mantenimiento mixto: es la aplicación de labores correctivas y preventivas de cualquier tipo, aprovechando la disponibilidad del equipo cuando se encuentra en fuera de servicio por una falla imprevista.
- ✘ Mantenimiento Over-Haul: sistema de mantenimiento que se aplica a fabricas que suspenden toda actividad durante un lapso de tiempo determinado, uno o dos veces al año. Estos trabajos requieren grandes cantidades de repuestos y mano de obra.

2.3.4.2 Errores frecuentes en la preparación y realización de los planes de mantenimiento

- ✘ Seguir en exceso las recomendaciones de los fabricantes: es un error por tres razones:
 1. El fabricante no conoce la importancia relativa de cada equipo en el entorno de la instalación en el que cumple su función, por lo que puede excederse o quedarse corto a la hora de proponer tareas de mantenimiento.
 2. Su interés se centra sobre todo en que el equipo no falle en el tiempo en que éste está en garantía.
 3. El sistema en su conjunto necesita de la realización de una serie de tareas y pruebas que no están incluidas en ninguno de los equipos por separado.

Es mucho más útil elaborar planes basándose en el análisis de los sistemas y sus fallas potenciales, completando este plan con las recomendaciones del fabricante.

- ✘ Orientar el plan de mantenimiento a equipos, en vez de ser orientado a sistemas: “Cuando un plan de mantenimiento se enfoca como el mantenimiento de cada uno de los equipos que componen la planta, el resultado suele ser una carga de trabajo burocrática inmensa, además de un plan incompleto”.
(<http://www.renovetec.com/editorial/mantenimientoindustrial-vol6-ingenieriamto.pdf>)
- ✘ No contar con el personal de operación para el mantenimiento diario
- ✘ Creer que una vez que el plan de mantenimiento esta elaborado no necesita actualización.
- ✘ No implicar al personal de mantenimiento en la elaboración o actualización del plan de mantenimiento.
- ✘ Falta de formación del personal sobre los planes de mantenimiento preventivo

2.3.5. Manual de mantenimiento de equipos

El manual de mantenimiento representa un papel fundamental en el desempeño adecuado de los equipos a lo largo del proceso productivo.

(http://www.redhucyt.oas.org/OcyT/OEA_GTZ/LIBROS/Manten_medida/ch5_ma.htm) Entre las ventajas del conocimiento de los procesos que se deben desarrollar se encuentran:

- ✘ Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado y sus condiciones de funcionamiento.
- ✘ Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos/máquinas.
- ✘ Mayor duración, de los equipos e instalaciones.
- ✘ Disminución de existencias en almacén y, por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.
- ✘ Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de mantenimiento debido a una programación de actividades.
- ✘ Menor costo de las reparaciones.
- ✘ La correcta calibración de los equipos proporciona la seguridad de que los productos o servicios que se ofrecen reúnen las especificaciones requeridas. Cada vez son más numerosas las razones que llevan a los fabricantes a calibrar sus equipos de medida, con el fin de:
 1. Mantener y verificar el buen funcionamiento de los equipos.
 2. Responder a los requisitos establecidos en las normas de calidad.
 3. Garantizar la fiabilidad y trazabilidad de las medidas.

2.3.6. Contenido básico de un manual de mantenimiento de equipos

Un manual de mantenimiento de equipos debe contener:

- ✘ Objetivos del manual y su alcance.
- ✘ Definiciones de los conceptos necesarios para poder comprender el manual
- ✘ Responsables de los procedimientos.
- ✘ Descripción de las actividades que se desarrollan en los procesos de mantenimiento de los equipos.
- ✘ Identificación de los equipos y accesorios que se utilizan en los procedimientos de mantenimiento.
- ✘ Formatos de fichas técnicas de los equipos y soluciones de mantenimiento.

A continuación un ejemplo de manual de mantenimiento para la industria de alimentos balanceados para animales:

1. TÍTULO: MANUAL DE MANTENIMIENTO

2. OBJETIVO

Establecer disposiciones para el mantenimiento de maquinarias y equipos para la producción de alimentos balanceados para animales, con el fin de asegurar su uso eficiente y obtener un producto final de alta calidad.

3. ALCANCE

La información contenida en este documento busca orientar en el proceso general para el desarrollo de las actividades de mantenimiento preventivo planificado para la maquinaria y equipos que intervienen directa o indirectamente en el proceso de producción.

4. DEFINICIONES

- ✘ Mantenimiento: “acción eficaz para mejorar aspectos operativos relevantes de un establecimiento tales como funcionalidad, seguridad, productividad, confort, imagen corporativa, salubridad e higiene. Otorga la posibilidad de racionalizar costos de operación”. (<http://www.mitecnologico.com/Main/ElConceptoDelMantenimiento>)
- ✘ Mantenimiento Preventivo: surge como respuesta al agotamiento de la vida útil u otros factores externos de componentes, partes, piezas, materiales y en general, de elementos

que constituyen la infraestructura o planta física, permitiendo su recuperación, restauración o renovación, sin agregarle valor al establecimiento.

- ✘ Mantenimiento Correctivo: “Acción de carácter periódica y permanente que tiene la particularidad de prever anticipadamente el deterioro, producto del uso y agotamiento de la vida útil de componentes, partes, piezas, materiales y en general, elementos que constituyen la infraestructura o la planta física, permitiendo su recuperación, restauración, renovación y operación continua, confiable, segura y económica, sin agregarle valor al establecimiento.”

(<http://www.formacionyservicios.net/MANTENIMIENTO/mod/glossary/view.php?id=9&mode=date&hook=&sortkey=CREATION&sortorder=desc&fullsearch=0&page=42>)

5. EQUIPOS E INSUMOS EMPLEADOS

- ✘ Herramientas Básicas: destornillador, alicate, juego de llaves (pulgadas), juego de llaves (milimétricas), juego de dados de pulgada con adaptadores y ratch, sierras, tornillos, lima, martillo, regla, calibrador.
- ✘ Herramientas eléctricas: Taladro, brocas, sierra, cautín, desoldador.
- ✘ Misceláneos: Grasa, aceite, pegamento, tornillos, pernos, arandelas.
- ✘ Herramientas de medición: Multímetro o multítester, amperímetro.

6. PROCEDIMIENTOS

Cualquier mantenimiento debe ser realizado por personal capacitado, siguiendo los lineamientos de seguridad industrial (uso de equipo de protección, uso adecuado de herramientas) para evitar accidentes.

6.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

- ✘ Realizar un inventario de los equipos existentes en la planta y levantar la ficha técnica de cada uno de ellos (Mirar numeral 7.1 Formato ficha técnica de equipos).
- ✘ Realizar el cronograma de mantenimiento preventivo.
- ✘ Generar la orden de mantenimiento y entregarla al personal encargado (Véase el numeral 7.2 Formato de solicitud de mantenimiento). En un plazo máximo de una semana, el equipo debe estar en buenas condiciones y funcionando correctamente.
- ✘ El mantenimiento debe ser realizado por una compañía experta en el tema, la cual debe cotizar la reparación antes de realizarla y ésta debe ser aprobada lo antes posible para

poder cumplir con el plazo de reparación (una semana).

- ✘ Descargar el reporte de mantenimiento en la hoja de vida del equipo, incluyendo las actividades realizadas, fecha y responsable.

6.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

- ✘ Realizar inventario de los equipos existentes en la planta, donde se podrá encontrar la referencia y especificaciones de los equipos existentes en la planta.
- ✘ Revisar el equipo y realizar un diagnóstico, evaluando anomalías en su funcionamiento.
- ✘ Establecer la prioridad del equipo con el fin de determinar qué equipo necesita el mantenimiento correctivo.
- ✘ En caso de reparación directa, solicitar servicio al equipo de mantenimiento de la compañía. Si requiere reparación no directa, se debe buscar la empresa que por su experiencia pueda llevar a cabo el mantenimiento correctivo.
- ✘ Coordinar el servicio de mantenimiento correctivo, estableciendo las fechas de intervención para los diferentes equipos.
- ✘ Elaborar la orden de servicio y entregar al departamento encargado (Véase el numeral 7.2 Formato de solicitud de mantenimiento). Si la reparación es contratada a un tercero se debe hacer la orden con previa aprobación de la cotización.
- ✘ Realizar las actividades correctivas relacionadas a las fallas originadas en los equipos cambiando los repuestos deteriorados.
- ✘ La orden de mantenimiento debe ser validada con la firma del responsable del equipo.
- ✘ Descargar el reporte de mantenimiento en la hoja de vida del equipo, incluyendo las actividades realizadas, fecha y responsable.

7. RESPONSABILIDADES

De la Gerencia

- ✘ Establecer la política que se aplica para el Mantenimiento de Equipos y proporcionar los medios para que se lleve a cabo.
- ✘ Delegar en forma escrita, todo lo relacionado con el Mantenimiento de Equipos especificando método, deberes y responsabilidades en este manual.
- ✘ Asignar a una persona encargada del Programa de Mantenimiento de Equipos, esta persona tendrá la autoridad para solicitar la colaboración del personal y ejercer supervisión de las tareas realizadas.
- ✘ Del Encargado de Mantenimiento de equipos
- ✘ Vigilar el estado de los equipos y realizar un cronograma de mantenimiento preventivo de

equipos.

- ✘ Solicitar y aprobar cotizaciones para las reparaciones programadas.
- ✘ Autorizar las reparaciones solicitadas por los diferentes departamentos de la planta y hacer seguimiento a su desarrollo con los respectivos registros.
- ✘ Hacer seguimiento y evaluación del programa de mantenimiento de equipos.

8. REGISTROS Y DOCUMENTACIÓN RELACIÓN

8.1 FORMATO FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS

NOMBRE DE LA EMPRESA	FORMATO FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS	DOCUMENTO NÚMERO	CÓDIGO DEL DOCUMENTO
DOCUMENTO PREPARADO POR	DOCUMENTO APROBADO POR:	FECHA	FORMATO DE DEVERIFICACIÓN
NOMBRE DEL EQUIPO:			
DEFINICIÓN			
		CÓDIGO	
		FECHA DE COMPRA	
		MARCA	
		MODELO	
		SERIE	
		CAPACIDAD	
ACCESORIOS		MANTENIMIENTO	
		PERIODO	
		PROVEEDORES	
		CONTACTO	
		TELÉFONOS	
INSTALACIÓN		INDICACIONES MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
		INDICACIONES MANTENIMIENTO CORRECTIVO	
ELEMENTOS CONSUMIBLES		PRECAUCIÓN O PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL	
FUNCIONAMIENTO			

OBSERVACIONES:

8.2 FORMATO DE SOLICITUD DE MANTENIMIENTO

NOMBRE DE LA EMPRESA	FORMATO SOLICITUD DE MANTENIMIENTO	DOCUMENTO NÚMERO	CÓDIGO DEL DOCUMENTO
			PM-001F
DOCUMENTO PREPARADO POR	DOCUMENTO APROBADO POR:	FECHA	FORMATO DE VERIFICACIÓN
1. INFORMACIÓN DEL SUCESO			
FECHA			
HORA DE INICIO DE LA TAREA			
HORA DE TERMINACIÓN DE LA TAREA			
2. OBJETO DEL MANTENIMIENTO			
INSTALACIÓN		MÁQUINA	EQUIPO
NOMBRE			
3. TIPO DE MANTENIMIENTO			
	PREVENTIVO		CORRECTIVO
4. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD EFECTUADA			
5. RECURSOS UTILIZADOS			
RECURSO HUMANO			
NOMBRE	CARGO	HORAS DE TRABAJO	
MATERIALES EMPLEADOS			
RECURSO	UNIDADES		
NOMBRE Y FIRMA RESPONSABLE			
OBSERVACIONES			

Ejercicio de autoevaluación

Estructurar un manual de mantenimiento para cualquier tipo de empresa. En el próximo tema se explican con mas detalle los formatos requeridos, por lo la elaboración de los formatos es una actividad del próximo tema.

PISTAS DE APRENDIZAJE

Tener en cuenta: el mantenimiento es el medio que tiene toda empresa para conservar operable con el debido grado de eficiencia y eficacia su activo fijo

Tenga presente: el principal objetivo del mantenimiento es asegurar la disponibilidad planeada al menor costo dentro de las recomendaciones de garantía y uso de los fabricantes de los equipos e instalaciones y normas de seguridad

2.4. Operación y control del mantenimiento

2.4.1. Introducción a la operación y control del mantenimiento

Un sistema de operación y control del mantenimiento es la base de una sólida administración del mantenimiento. Las actividades en la operación y control de mantenimiento incluyen la coordinación de la demanda del mantenimiento y la administración de los recursos disponibles con el objetivo de cubrir las necesidades de la empresa de forma eficiente y eficaz. Un sistema eficaz de control y operación incluye las siguientes características:

1. Demanda de mantenimiento.
2. Recursos de mantenimiento
3. Procedimientos y medios para coordinar, programar y ejecutar el trabajo.
4. Parámetros de rendimiento y calidad
5. Monitoreo y control.

2.4.2. La orden de trabajo de mantenimiento

La orden de trabajo es un formato donde se detallan las instrucciones escritas para el trabajo a realizar y debe ser completada para todos los trabajos de mantenimiento. Entre los objetivos de la orden de mantenimiento podemos encontrar:

1. Solicitar por escrito el trabajo que se va a realizar al departamento de mantenimiento.
2. Asignar el mejor método y los empleados mas capacitados para la actividad de mantenimiento.
3. Reducir el costo de la mano de obra, empleando de forma adecuada los recursos.
4. Mejorar la planeación y programación del mantenimiento.
5. Mejorar el mantenimiento mediante el análisis de los datos históricos de mantenimientos solicitados por zonas.

La orden de trabajo debe contener la información necesaria para la planeación y programación del mantenimiento, incluyendo lo siguientes:

1. Descripción del equipo y su ubicación.
2. Persona o departamento que solicita el trabajo.
3. Descripción del trabajo a realizar.
4. Prioridad del trabajo a realizar.
5. Información técnica.
6. Repuestos, herramientas y otros materiales requeridos.
7. Procedimientos de seguridad.

A continuación un ejemplo de una orden de trabajo, teniendo en cuenta que varían según la empresa donde se va a emplear.

ORDEN DE TRABAJO NÚMERO:				
INFORMACIÓN DEL SUCESO				
FECHA				
DEPARTAMENTO SOLICITANTE				
HORA DE TERMINACIÓN DE LA TAREA				
PRIORIDAD	EMERGENCIA	URGENTE	NORMAL	PROGRAMADA
OBJETO DEL MANTENIMIENTO				
INSTALACIÓN			REPARACIÓN	
INFORMACION DEL EQUIPO				
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO				

RECURSOS UTILIZADOS		
RECURSO HUMANO		
NOMBRE	CARGO	HORAS DE TRABAJO
MATERIALES EMPLEADOS		
RECURSO	UNIDADES	
NOMBRE Y FIRMA RESPONSABLE		
OBSERVACIONES		

Tabla elaborada por la Ingeniera Agroindustrial Laura Marcela Trujillo Vargas
 Los siguientes son los pasos secuenciales para el procesamiento de las órdenes de trabajo:

1. El planificador recibe la orden de trabajo, la cual es examinada e incluida en la programación del mantenimiento.
2. La orden de trabajo se anota en un registro que incluye los datos pertenecientes a cada orden de trabajo.
3. Una copia es archivada por el departamento de mantenimiento, otra es entregada al encargado de la tarea de mantenimiento y otra es entregada a la persona que genero el requerimiento.
4. El encargado del mantenimiento asigna la tarea al técnico especializado y le entrega una copia de la orden, la cual es diligenciada por el operario con la información del trabajo que se llevo a cabo.
5. El encargado verifica la información y revisa la calidad del trabajo. Luego informa al planeador que la actividad ha sido realizada con éxito.
6. El planificador informa a la persona que solicito el trabajo que ya se cumplió el requerimiento y envía información al departamento de contabilidad sobre los costos de la reparación. En la ficha del equipo registra el trabajo que se le realizo al equipo para tener completa la historia del equipo.

2.4.3. Estructura del control del mantenimiento

Las tareas básicas del control de mantenimiento son:

1. Coordinación y planeación de las órdenes de trabajo: se encarga de satisfacer la demanda de mantenimiento, cumpliendo con los requerimientos de producción y las capacidades de los recursos de mantenimiento. Esta tarea comprende cuatro funciones de decisión:
 - a. Planeación del mantenimiento preventivo: se encarga de la vigilancia del plan de mantenimiento preventivo y la generación de órdenes de trabajo necesarias para seguir este plan.
 - b. Clasificación del mantenimiento correctivo: comprende la planeación y especificación de órdenes de trabajo correspondientes a tareas de mantenimiento correctivo, priorizando las ordenes de acuerdo con las consecuencias de las fallas en la producción.
 - c. Aceptación del mantenimiento adaptable: busca reducir el trabajo realizado por el departamento de mantenimiento mediante la programación a futuro de las tareas de mantenimiento o la subcontratación de las tareas.
 - d. Ajuste de la capacidad de mantenimiento: es una función que evalúa el cumplimiento de las órdenes de trabajo con los recursos disponibles, determinando si es necesario la subcontratación de las tareas o tiempo extra.
 - e. Procesamiento de las ordenes de trabajo: consiste en la liberación de las ordenes de trabajo, programación
 - f. Retroalimentación de información y acciones correctivas: se ocupa de la recopilación de la información y toma de decisiones para alcanzar las metas y los objetivos establecidos.

2.4.3.1 Control del trabajo

Este tipo de trabajo vigila el estado del trabajo realizado y si este se ha ejecutado de acuerdo con las normas (calidad y tiempo). En esta categoría se generan informes que muestran el desempeño de las ocupaciones o puestos empleados en el trabajo y su productividad. También se genera un informe de trabajos pendientes, lo cual debe ser actualizado semanalmente. Si la cantidad de trabajos pendientes aumenta y se identifica una tendencia clara, es necesario implementar las siguientes acciones:

1. Incrementar el mantenimiento contratado.
2. Considerar la transferencia de mano de obra entre departamentos.
3. Programar tiempo extra, sin afectar de forma considerable los costos.
4. Incrementar la fuerza de trabajo de mantenimiento.

2.4.3.2 Control de costos

El costo de mantenimiento comprende:

1. Costo directo de mano de obra
2. Costo de paro de actividades por fallas
3. Costo de calidad, generado por la producción de artículos que no cumplen con la norma por desperfectos en los equipos.
4. Costo de deterioro del equipo por falta de mantenimiento.
5. Costo de mantenimiento excesivo.

Los informes de costos indicaran los programas de reducción de costos, los cuales pueden ser aplicados en:

1. Considerara el uso de materiales sustitutos para mantenimiento
2. Modificar los procedimientos de inspección
3. Revisar los procedimientos de mantenimiento.
4. Rediseñar los procedimientos de manejo de materiales y herramientas empleados en el mantenimiento.

2.4.3.3 Control de calidad de mantenimiento.

El mantenimiento tiene una relación directa con la calidad de los productos, pues un equipo defectuoso afecta la capacidad del proceso y genera desperdicios y producto rechazado. Un informe mensual sobre el porcentaje de trabajos rechazados o repetidos ayuda a identificar cuales maquinas requiere un seguimiento para determinar las causas de fallas. Después de formular la medida que se debe tomar para solucionar el problema, se puede modificar la política de mantenimiento y optimizar la capacitación del personal que atiende ese tipo de equipos.

2.4.3.4 Control de las condiciones de la planta

El control de la planta requiere un registro de las fallas y reparaciones de equipos críticos e importantes en la planta. Esta información puede ser obtenida de las ordenes de trabajo o historia del equipo.

Ejercicio de autoevaluación

1. ¿Cuál es el propósito de las órdenes de mantenimiento? Describa su flujo en el sistema de mantenimiento
2. ¿Cuáles métodos y que acciones se pueden necesitar para el control de trabajos pendientes?
3. Diseñe y anexe los siguientes formatos al manual que realizo en la actividad del tema 2,
 - a. Orden de trabajo
 - b. Historia del equipo
4. Visite dos empresas en su área y recopile muestras de sus ordenes de trabajo. Para cada empresa, señale las diferencias de la orden de trabajo y sugiera mejoras.

PISTAS DE APRENDIZAJE

Tener en cuenta que: las tareas básicas del control del mantenimiento son:

Coordinación y planeación de las órdenes de trabajo

Procesamiento de las ordenes de trabajo: consiste en la liberación de las ordenes de trabajo, programación

Retroalimentación de información y acciones correctivas

Tenga presente que: las actividades en la operación y control de mantenimiento incluyen la coordinación de la demanda del mantenimiento y la administración de los recursos disponibles con el objetivo de cubrir las necesidades de la empresa de forma eficiente y eficaz

Traer a la memoria que: la orden de trabajo es un formato donde se detallan las instrucciones escritas para el trabajo a realizar y debe ser completada para todos los trabajos de mantenimiento

2.5. Avances en los conceptos de mantenimiento

La administración del mantenimiento ha tenido que cambiar para estar al día con el versátil entorno de trabajo. Muchas metodologías han sido desarrolladas para ayudar al encargado del mantenimiento en estos cambios, y continuación se mencionan algunas de esas herramientas desarrolladas.

2.5.1. Diseño de la factibilidad del mantenimiento

La factibilidad del mantenimiento es la probabilidad de realizar el mantenimiento de un equipo en un tiempo específico. Este periodo podría ser el tiempo medio para la reparación (MTTR) definido como:

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo muerto por reparación}}{\textit{Número de reparaciones}}$$

El diseño para la mantenibilidad tiene como objetivo reducir la frecuencia de las reparaciones requeridas, la duración del tiempo de reparación y el tiempo total de intervención del mantenimiento incluyendo las tareas de mantenimiento preventivo. La meta del diseño para la mantenibilidad es evitar el mantenimiento.

El diseño con el objetivo de evitar el mantenimiento comienza cuando se formulan necesidades presentes y futuras de equipo por parte del cliente. Durante este tiempo se debe recopilar y organizar la información de los usuarios actuales del diseño existente sobre los problemas encontrados y darle solución a estos, así como la información acerca de las mejoras hechas al equipo durante su operación y mantenimiento de rutina.

El diseño con miras a la prevención del mantenimiento deberá tener las siguientes características:

- ✘ Elementos incorporados de diagnóstico en búsqueda de anomalías, causas fundamentales de fallas y procedimiento de restablecimiento.
- ✘ Facilidad y rapidez en las preparaciones y en los cambios.
- ✘ Facilidad de limpieza, inspección, lubricación, ajuste y reemplazo de componentes.
- ✘ Operación limpia, sin excesivo esparcimiento de aceite y desperdicios.
- ✘ Adaptable a varias ubicaciones de planta y ambientes.
- ✘ Facilidad en el arranque inicial.

2.5.2. Mantenimiento centrado en la confiabilidad

“El mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) fue desarrollado por la industria de aviación civil de los Estados Unidos” (Duffuaa, 2009). Es una metodología lógica derivada de la investigación realizada en el sector de la aviación, y hace uso de la herramienta del análisis de modo de falla, efecto y grado crítico. La metodología sigue los siguientes pasos:

- ✘ Seleccione los sistemas del equipo que sean mas importantes para la planta, la instalación, o los activos.
- ✘ Defina el rendimiento o función esperada de este equipo y lo que constituye una falla funcional.
- ✘ Identifique las causas fundamentales de la falla funcional.
- ✘ Determinar el efecto para estas causas, en una secuencia de eventos en términos de seguridad, ambiente, producción o si es un efecto oculto.
- ✘ Calcular el grado crítico del efecto de dicha falla.
- ✘ Emplear un diagrama lógico como el que se presenta a continuación para seleccionar la táctica de mantenimiento mas apropiada para evitar la falla.

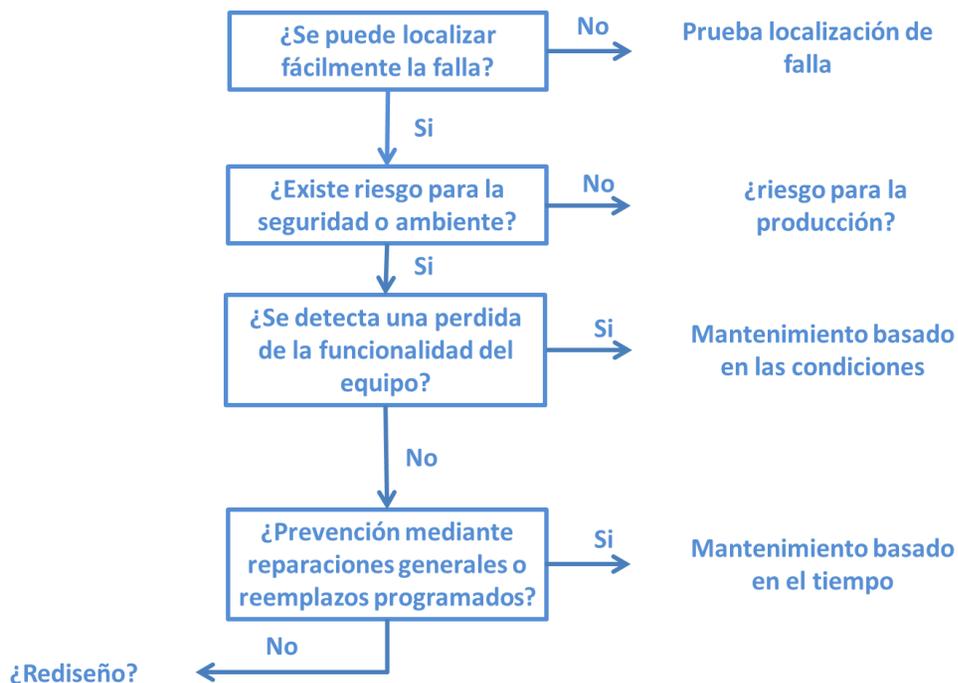


Figura 3. Diagrama para el mantenimiento centrado en la confiabilidad
 Elaborado por la Ingeniera Agroindustrial Laura Marcela Trujillo Vargas

- ✘ Determinar la acción específica que prevenga la falla funcional y su frecuencia de programación.
- ✘ Si no existe una tarea preventiva que sea apropiada, determina si puede operarse hasta que se presente la falla, si se justifica un rediseño o si existe una prueba que puede realizarse para determinar la falla.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad asegura que se emprendan las acciones correctas de mantenimiento preventivo o predictivo y elimina aquellas tareas que no producen ningún impacto en la frecuencia de fallas.

2.5.2.1 Benchmarking aplicado al mantenimiento industrial

El benchmarking es “el proceso continuo y sistemático de evaluar los productos, servicios o procesos de las organizaciones que son reconocidas por ser representativas de las mejores prácticas para efectos de mejora organizacional”

(<http://www.degerencia.com/tema/benchmarking>)

El benchmarking como una metodología para mejora continua, busca tanto los parámetros como los procesos para alcanzar estos parámetros. La metodología comienza con una comprensión total del desempeño de la planta y aquellos procesos que son elementales. Para el éxito de la planta. Esto representará el alcance de lo que debe fijarse como referencia. En administración de mantenimiento se hace una evaluación de diez áreas y tres o cuatro de las áreas son críticas son candidatas para el ejercicio de benchmarking. Un equipo de trabajo conformado por el personal de mantenimiento, materiales y operaciones examina lo siguiente:

1. Planeación a largo plazo e iniciativas de mejora.
2. Organización y planeación de la fuerza laboral.
3. Planeación, programación y control del trabajo.
4. Compras, almacenes y control de inventarios.
5. Mantenimiento preventivo y predictivo.
6. Medidas y estadística de desempeño
7. Administración y sistemas de información
8. Comunicación de mantenimiento-producción.
9. Administración y procesos administrativos.

La aplicación del benchmarking a un programa de mantenimiento preventivo y predictivo implica entender la relación causal entre este proceso y otros y sus estadísticas de desempeño. Un programa de mantenimiento bien estructurado reduce las fallas, las emergencias, los trabajos urgentes, el tiempo extra, los costos adicionales de mano de obra, aumentando la disponibilidad, confiabilidad, eficiencia del proceso y la precisión de operación del equipo y como resultado se obtiene un incremento de la calidad del producto.

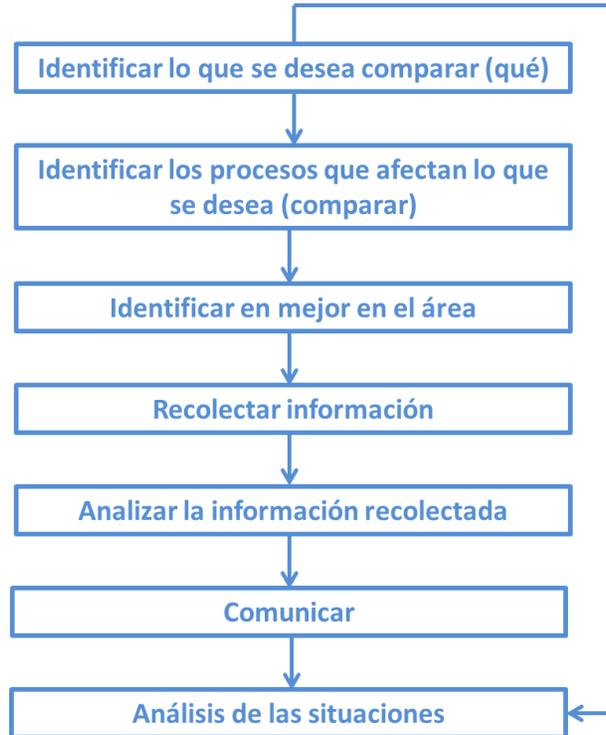


Figura 4. Conceptos de Benchmarking aplicados al mantenimiento
Elaborada por la Ingeniera Agroindustrial Laura Marcela Trujillo Vargas

2.5.2.2 Reingeniería en los procesos de mantenimiento

“La reingeniería esta basada en el concepto de volver a empezar, olvidándose de los procedimientos establecidos e intentando nuevas formas para realizar el trabajo, creando un nuevo método de trabajo para entregar productos y mejores servicios a los clientes. La reingeniería debe planearse meticulosamente y ejecutarse en pequeños y cautelosos pasos, es una propuesta de todo o nada con un resultado financiero”.

(<http://es.scribd.com/doc/56173147/8/LA-REINGENIERIA-EN-MANTENIMIENTO>). La reingeniería de los procesos de mantenimiento abarca el empleo de varias técnicas para ayudar a entender el proceso actual, sus costos y componentes que agregan valor, y ayudar a establecer la visión y las metas de desempeño para el nuevo proceso. A continuación se enuncian los pasos que se deben seguir para mejorar el mantenimiento industrial, aplicando los conceptos de reingeniería:

✘ **Análisis de los procesos:** comprende los siguientes pasos:

- a. Fijar los límites del proceso
- b. Dibujar el flujo central del proceso a través de cada paso y responsabilidad
- c. Determinar las medidas de las entradas, las salidas y otras medidas de rendimiento. La entrada es la identificación de una falla y la salida es la reparación de la falla y algunas medidas claves son las siguientes:
 1. Tiempo de respuesta del trabajador de mantenimiento para llegar al punto de falla.
 2. Tiempo del ciclo desde la identificación de la falla hasta la conclusión.
 3. Costo del tiempo de los participantes en el proceso
 4. Volumen de solicitudes de emergencia en un periodo de tiempo
 5. Costo de los materiales.
- a. Identificar a los proveedores, clientes y gerentes claves.

Después de seguir las indicaciones se puede estructurar el proceso identificando las fuentes de ineficiencia, como las siguientes: duplicación, complejidad, falta de tecnología, falta de normalización, costos excesivos y facilidad para cometer errores por falta de instrucción.

✘ **Costeo basado en las actividades:** el enfoque para el costeo basado en las actividades consta de los siguientes elementos:

- a. Determinar las actividades claves
- b. Determinar el costo de la actividad y su desempeño
- c. Rastrear el costo de la actividad a los objetivos de costo
- d. Evaluar la eficacia y la eficiencia en costos comparando el costo de la actividad con los objetivos del proceso.

Una cantidad significativa son los costos por trabajos urgentes, el cual no se planea, y una pequeña porción es el costo por el trabajo de mantenimiento preventivo-predictivo, el cual ayuda a reducir el trabajo urgente.

✘ **Benchmarking competitivo:** esta técnica intenta crear una visión de desempeño futuro, lo cual se puede lograr mediante sesiones de lluvia de ideas para adaptar las mejores prácticas a las situaciones que se presentan en la organización individual.

Ejercicio de autoevaluación

1. Defina el termino reingeniería desde el punto de vista Administrativo
2. Mencione los pasos del benchmarking.
3. Visite una planta de su área y estudie el proceso para manejar el mantenimiento de emergencia. Elaborar un diagrama de flujo de este proceso e identifique actividades que no agregan valor. Elimine estas actividades. Aplique el concepto de reingeniería a este proceso.
4. Mencione tres procesos del mantenimiento a los cuales pueda aplicarle reingeniería.

PISTAS DE APRENDIZAJE

Tener en cuenta: la aplicación del benchmarking a un programa de mantenimiento preventivo y predictivo implica entender la relación causal entre este proceso y otros y sus estadísticas de desempeño.

Traer a la memoria que: el mantenimiento centrado en la confiabilidad asegura que se emprendan las acciones correctas de mantenimiento preventivo o predictivo y elimina aquellas tareas que no producen ningún impacto en la frecuencia de fallas.

3. TIPOS DE MANTENIMIENTO

Tipos de mantenimiento

<http://www.youtube.com/watch?v=5yyps1P7BA7o>



3.1. Relación de conceptos

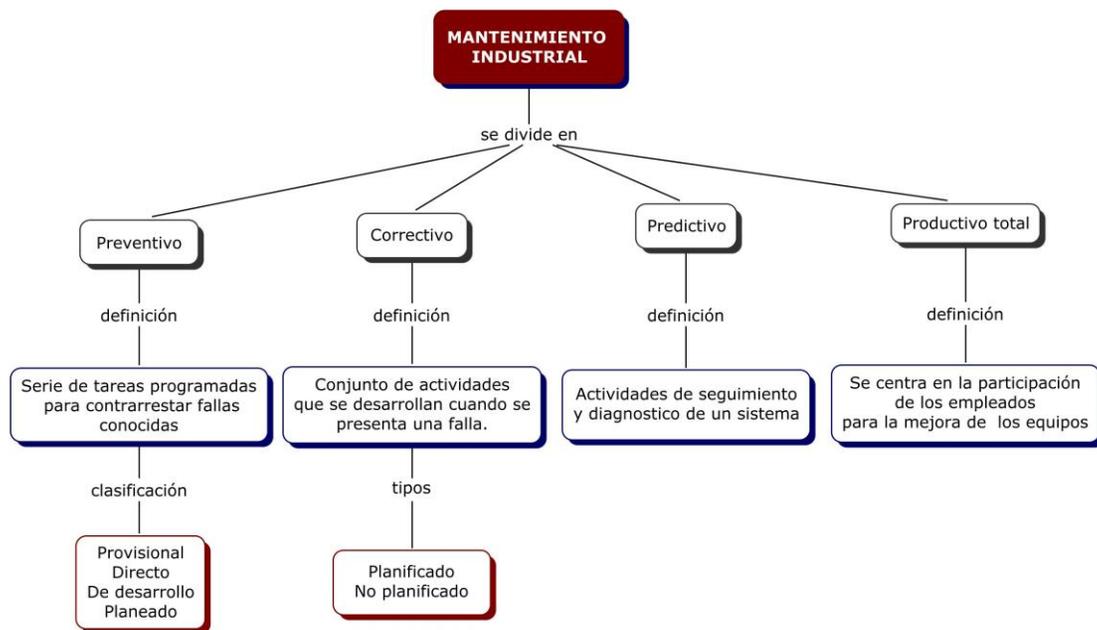


Figura 5. Mapa conceptual Tipos de mantenimiento.
Elaborada por la Ingeniera Agroindustrial Laura Marcela Trujillo Vargas

OBJETIVO GENERAL

Conocer los diferentes tipos de mantenimiento, proporcionando herramientas de identificación y aplicación de cada uno de ellos, para la reducción de gastos y tiempos en los sistemas de producción.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✘ Conocer los fundamentos del mantenimiento preventivo, su importancia y formas de implementación en las empresas.
- ✘ Entender el concepto de mantenimiento correctivo, cuando puede ser aplicado y que ventajas tiene su implementación en las empresas.
- ✘ Interpretar los conceptos de mantenimiento predictivo para ser aplicado en situaciones susceptibles de tareas de mantenimiento industrial
- ✘ Conocer las ventajas del mantenimiento productivo industrial y la forma como se implementa en las empresas.

3.2. Prueba inicial

1. Realice un cuadro comparativo con los diferentes tipos de mantenimiento.

3.3. Mantenimiento preventivo

3.3.1. Conceptos básicos de mantenimiento preventivo

“El mantenimiento preventivo se define como una serie de tareas planeadas previamente, que se llevan a cabo para contrarrestar las causas conocidas de fallas potenciales de las funciones para las que fue creado un activo” (Duffuaa, 2009).

Entre las ventajas del mantenimiento preventivo se pueden encontrar:

1. Con el tiempo se disminuyen los paros inesperados en el proceso productivo, que son reemplazados por paros programados.

2. Se mejora la eficiencia de los equipo, y por lo tanto la producción.
3. Diminución en las reparaciones duplicadas: una para diagnosticar el equipo y otra para repararlo.
4. Disminución de accidentes durante la ejecución de los mantenimientos, pues el trabajo ya es programado según procedimientos escritos y no mantenimientos de emergencia bajo alta presión, para entregar el equipo lo mas pronto posible.
5. Menor necesidad de reparaciones a gran escala y reparaciones repetitivas, dando como resultado menor acumulación de la fuerza de trabajo y equipo.

Las desventajas que presenta este sistema son:

1. Cambios innecesarios: al alcanzarse la vida útil de un elemento se procede a su cambio, encontrando muchas veces que el elemento que se cambia permitiría ser utilizado durante un tiempo más prolongado. En otros casos, ya con el equipo desmontado, se observa la necesidad de "aprovechar" para realizar el reemplazo de piezas menores en buen estado, cuyo costo es escaso frente al correspondiente de desmontaje y montaje, con el fin de prolongar la vida del conjunto.
2. Problemas iniciales de operación: cuando se desmonta, se montan piezas nuevas, se monta y se efectúan las primeras pruebas de funcionamiento, pueden aparecer diferencias en la estabilidad, seguridad o regularidad de la marcha.
3. Costo en inventarios: el costo en inventarios sigue siendo alto aunque previsible, lo cual permite una mejor gestión.
4. Mano de obra: se necesitará contar con mano de obra intensiva y especial para períodos cortos, a efectos de liberar el equipo para el servicio lo más rápidamente posible.
5. Mantenimiento no efectuado: si por alguna razón, no se realiza un servicio de mantenimiento previsto, se alteran los períodos de intervención y se produce un degeneración del servicio
6. No se pueden esperar resultados importantes hasta después de un año de implementación de un programa de mantenimiento preventivo.
7. Si no se respetan las fechas y las frecuencias programadas, el programa no funcionará.

Las principales aplicaciones de los programas de mantenimiento preventivo son:

1. Equipos de naturaleza mecánica o electromecánica sometidos a desgaste seguro
2. Equipos cuya relación fallo-duración de vida es conocido

3.3.1.1 Principios del mantenimiento preventivo

1. Inspecciones programadas para buscar evidencia de falla de equipos o instalaciones, para corregirlas en un lapso de tiempo que permita programar la reparación, sin que haya paro no programado.
2. Actividades repetitivas de inspección, lubricación, calibraciones, ajustes y limpieza.
3. Programación de esas actividades repetitivas con base a frecuencias diarias, semanales y mensuales.
4. Programación de actividades repetitivas en fechas calendario perfectamente definidas, siguiendo la programación de frecuencias de actividades, que deberán respetarse o reprogramarse en casos excepcionales.
5. Control de esas actividades repetitivas basadas en órdenes de trabajo.

El mantenimiento preventivo es el principal requisito para reducir la frecuencia y severidad de las fallas en los equipos. Se emplean tres medidas para vigilar que el programa de mantenimiento preventivo sea completo:

1. Cobertura del programa de mantenimiento preventivo
2. Cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo
3. Trabajo generado por las rutinas de los programas de mantenimiento preventivo.

3.3.1.2 Clasificación del mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se puede clasificar en cuatro grupos que se exponen a continuación:

1. Provisional: consta de actividades preventivas ligeras que son el resultado de las inspecciones y permiten la operación del equipo durante un tiempo adecuado para descubrir las fallas futuras y determinar las causas. Usando esta información se realiza la planeación del mantenimiento más conveniente para el equipo o proceso analizado.
2. Directo: consiste en inspecciones detalladas, con el equipo fuera de servicio y las acciones inmediatas con el fin de disminuir la probabilidad de falla.
3. De desarrollo: es el conjunto de actividades que se adelantan a la falla, con el objetivo de mejorar el comportamiento general del equipo.
4. Planeado: son las actividades preventivas que se realizan en los equipos como resultado de un convenio con los proveedores del equipo, con el ánimo de satisfacer las condiciones de la garantía y lograr ahorros en las reparaciones futuras.

3.3.1.3 Tipos de programas de mantenimiento preventivo

El diseño y establecimiento de programas de mantenimiento preventivo varia dependiendo del tipo de empresa a la cual va ser aplicado. Los principales tipos de mantenimiento preventivo se pueden agrupar de la siguiente forma:

1. Mantenimiento preventivo periódico: es el programa que es realizado siguiendo un orden lógico de actividades de mantenimiento recomendadas por el fabricante del equipo.
2. Mantenimiento preventivo periódico productivo: es un programa elaborado según las necesidades productivas. Este tipo de programa debe realizarse después de establecer los programas de producción.
3. Mantenimiento preventivo periódico por Over-Haul: este tipo de programa se aplica en las paradas generales de empresas que suspenden sus actividades por completo de una a dos veces por año.

3.3.1.4 Pasos para establecer un programa de mantenimiento preventivo

Para establecer un programa de mantenimiento preventivo se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Recopilar toda la información disponible sobre los paros de los equipos presentes en la compañía, esto con el propósito de establecer bases contra las que se puedan comparar los beneficios del programa de mantenimiento preventivo.
2. Realizar un examen detallado de todos los equipos para determinar:
 - a. Equipos que requieren un mantenimiento correctivo o justificar su reemplazo.
 - b. Equipos que formaran parte del programa inicial de mantenimiento preventivo.
 - c. Trabajos que se deben efectuar
 - d. Costo del mantenimiento correctivo de los equipos seleccionados en la opción a.
 - e. Necesidades de tiempo y personal para realizar el mantenimiento correctivo y preventivo programado.
3. Clasificar los tipos de programas: se pueden clasificar en dos grupos: aquellos que no requieren para el equipo y los que deben estar acompañados de una parada programada del equipo para realizar las tareas de inspección.

4. Realizar el mantenimiento correctivo inicial a los equipos seleccionados, para evitar fallas imprevistas que afecten las tareas y fechas programadas.
5. Realizar tareas de identificación de equipos.
6. Seleccionar los equipos que serán incluidos en el programa de mantenimiento preventivo y cuales continuaran con el sistema de mantenimiento previamente establecido en la empresa.
7. Preparar el manual de inspecciones que debe contener: Instrucciones de montaje, instrucciones de operaciones, manuales de mantenimiento y formatos de inspección.
8. Integrar los grupos de trabajo según las necesidades específicas de los equipos clasificados. Se debe contar con: profesionales, supervisores y operarios experimentados.
9. Realizar una programación inicial de las frecuencias y fechas exactas para las actividades repetitivas de mantenimiento preventivo. Para determinar las frecuencias de las actividades se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:
 - ✘ Edad, condición y costo del equipo
 - ✘ Flexibilidad del servicio
 - ✘ Requisitos de seguridad
 - ✘ Susceptibilidad de deterioro
 - ✘ Condiciones particulares de operación

Para determinar los equipos que deben ser incluidos en el mantenimiento preventivo se debe tener en cuenta:

1. Los equipos que se consideren críticos en el proceso y que están presentando fallas o los que al fallar pueden detener toda la línea de producción generando pérdidas de materia prima o producto en proceso.
2. Los equipos básicos de proceso como calderas, compresores, bombas de agua entre otros.
3. Los equipos que al fallar ponen en riesgo la vida del personal.

3.3.1.5 Elementos necesarios para la implementación de un programa de mantenimiento preventivo

Para la implementación de un sistema de mantenimiento preventivo son fundamentales las siguientes condiciones:

1. Vender la idea el plan de mantenimiento preventivo al área administrativa, logrando el apoyo de los directivos lo que influirá de forma significativa en el éxito del programa.
2. Crear conciencia sobre las ventajas del programa de mantenimiento preventivo en todo el personal.
3. Establecer los programas de inspección: es necesario que sea bien elaborado técnicamente el plan de inspecciones y periodicidad de las misma; además que sea dirigido desde el comienzo por supervisores que conozcan los equipos completamente y contar con el apoyo de personal operativo responsable y cuidadoso.
4. Diseñar controles para el programa: es indispensable el control en el desarrollo del programa para que exista continuidad, revisiones oportunas y evaluaciones de forma periódica. Un sistema de control eficiente incluye:
 - a. Cumplimiento de los programas sin interrupción.
 - b. Adecuada ubicación de los puntos de control
 - c. Responsabilidad en el manejo de los programas de mantenimiento preventivo
 - d. Establecimiento de los procedimientos para el control de los costos de mantenimiento.

Otros aspectos que se deben tener en cuenta a la hora de implementar los programas de mantenimiento preventivo son:

- a. Todo equipo requiere mantenimiento, sin importar la tarea que desempeñe dentro del proceso de producción ,
- b. El mantenimiento debe intervenir en la planeación de producción (en lo posible)
- c. El objetivo del mantenimiento es maximizar la producción, pero sin comprometer la calidad de los productos.
- d. Es fundamental una buena planeación del mantenimiento, pero es mas importante contar con personal capacitado para su ejecución.
- e. Debe existir buena comunicación entre las áreas de producción y mantenimiento.

Ejercicio de autoevaluación

¿Por qué el mantenimiento preventivo es generalmente más eficaz que los otros tipos de mantenimiento? Justifique su respuesta.

PISTAS DE APRENDIZAJE

Tener en cuenta: para que cualquier plan de mantenimiento preventivo tenga éxito debe ser bien planeado y debe ser un plan actualizado.

Tenga presente: que todas las empresas son diferentes y que en ocasiones las áreas de una planta no son similares, depende del trabajo que se realiza en cada una de ellas, el tipo de maquinaria, el recurso humano disponible, ambiente laboral entre otros. Sin embargo se debe realizar un plan general y debe ser ajustado a las necesidades.

3.4. Mantenimiento correctivo

3.4.1. Conceptos básicos de mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo “es el conjunto de actividades desarrolladas en maquinas, instalaciones o edificios, cuando a consecuencia de una falla, han dejado de prestar la calidad del servicio para la cual fueron diseñados. Por lo tanto, las labores que deben llevarse a cabo tienen por objeto la recuperación inmediata de la calidad del servicio”. (García, 2006)

El mantenimiento correctivo es el tipo de mantenimiento más empleado ya que no requiere mucha organización y en principio menor esfuerzo, generando ocupación adicional del personal por fuera de las horas hábiles. Este tipo de mantenimiento realiza las tareas de reparación no planificadas que resultan de las fallas imprevistas, y mediante una inspección se puede determinar el tipo de trabajo a efectuar.

Las principales ventajas son:

1. No genera gastos fijos
2. No es necesaria la programación de actividades
3. A corto plazo ofrece un buen resultado económico.

4. Se puede aplicar a los equipos en los cuales el mantenimiento preventivo no tiene ningún efecto, ejemplo los dispositivos electrónicos.

Las desventajas son:

1. La producción se vuelve poco confiable. Se generan gran cantidad de paradas por fallas en cualquier momento.
2. Supone asumir riesgos económicos que en ocasiones pueden ser significativas.
3. La vida útil de los equipos se acorta.
4. Las fallas de los equipos ponen en riesgo la producción y la seguridad de los trabajadores.
5. Se debe contar con amplio inventario de repuestos y gran cantidad de personal capacitado.

3.4.2. Tipos de mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se puede clasificar de dos formas: en planificado y no planificado.

- ✘ Planificado: consiste en la reparación de un equipo cuando se dispone del personal, repuestos, información técnica y otros parámetros necesarios para efectuarlo.
- ✘ No planificado: “Corrección de las fallas, cuando éstas se presentan, y no planificadamente, al contrario del caso de Mantenimiento Preventivo. Esta forma de mantenimiento impide el diagnóstico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si falló por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo, por desgaste natural, entre otros. El ejemplo de este tipo de Mantenimiento Correctivo No Planificado es la habitual reparación urgente tras una avería que obligó a detener el equipo o máquina dañado”. (http://www.solomantenimiento.com/m_correctivo.htm)

3.4.2.1 Causas de fallas

Las principales causas de fallas son:

- ✘ Por una falla en el material: hay una falla en el material cuando trabajando en condiciones adecuadas una pieza del equipo queda imposibilitada para prestar su servicio. El material puede fallar por: desgaste, rotura y fatiga.
- ✘ Error humano del personal de producción: puede tener origen en:

1. Error de interpretación de un indicador durante la operación normal de un equipo.
 2. Actuación incorrecta ante una falla de la maquina.
 3. Factores físicos del operador, como enfermedad, estrés o cansancio acumulado.
 4. Factores psicológicos.
 5. Falta de instrucciones claras
 6. Falta de capacitación.
- ✘ Errores del personal de mantenimiento: entre las fallas mas comunes provocadas por el personal de mantenimiento están:
1. observaciones equivocadas de los parámetros inspeccionados.
 2. Realización de los montajes y desmontajes tener en cuenta los parámetros dados por el fabricante.
 3. La reutilización de materiales que deben desecharse.
 4. Uso de repuestos no adecuados.
 5. Uso de herramienta inadecuada.
- ✘ Condiciones externas: cuando las condiciones externas son diferentes a las condiciones para las cuales e ha diseñado el equipo pueden ocurrir fallas provocadas por estas condiciones que no cumplen con unas especificaciones determinadas.
- ✘ Inventario de repuestos.

3.4.2.2 Elementos necesarios en el mantenimiento correctivo

Los factores más importantes para el desarrollo de las actividades del mantenimiento correctivo son:

1. Personal: debe ser altamente capacitado y el jefe de mantenimiento debe programar las tareas que desarrolla cada persona para mantener el equilibrio en el grupo de trabajo y atender todas las solicitudes de inmediato o lo mas pronto posible con el menor costo.
2. Equipo
3. Repuestos
4. Organización y actividades de control: para que las cosas se hagan de forma apropiada se requiere estudio, buena información y comunicación. Es necesario establecer programas de capacitación y formación del personal y simultáneamente realizar el análisis para la formulación de procedimientos y métodos de trabajo más eficientes.

3.4.2.3 Clasificación del mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se puede clasificar de la siguiente forma:

Según la disponibilidad de tiempo para realizar la reparación	Mantenimiento correctivo ligero	Es el que restablece el servicio en el menor tiempo posible, minimizando el tiempo de parada de la producción.
	Mantenimiento correctivo profundo	Permite realizar una reparación completa del equipo, en este caso el tiempo de parada no es determinante en la producción.
Según las circunstancias y políticas de mantenimiento	Mantenimiento correctivo centralizado	Opera solo una cabeza centra, tiene las ventajas de supervisión, mayor capacitación y menor tiempo de control de tiempos y estándares.
	Mantenimiento correctivo descentralizado	Requiere de personal independiente en cada una de las áreas de la empres, permitiendo una atención inmediata de las fallas y con un grado mas alto de especialización. Como desventaja tiene excesivo personal lo que incrementa los gastos directos y existencia de tiempo ocioso.
Según las necesidades productivas de la empresa	Mantenimiento correctivo directo	Restablece el equipo a partir de la falla sin importar el tipo de parada ocasionada.
	Mantenimiento correctivo de adaptación	No se interviene el equipo en el momento de la falla, sino que se acepta como tal por considerarse obvia y se

		continúa con la operación del equipo bajo la condición de riesgo (generalmente alto). Esto se hace por razones de economía o por la necesidad de cumplir con compromisos de producción.
--	--	---

Tabla elaborada por la Ingeniera Agroindustrial Laura Marcela Trujillo Vargas

Ejercicio de autoevaluación

En una empresa que fabrica vehículos prefieren emplear mantenimiento correctivo en lugar de implementar un sistema de mantenimiento preventivo. Diga si esta de acuerdo o no con esta decisión tomada por el departamento de mantenimiento y justifique su respuesta, argumentando las ventajas y desventajas de cada tipo de mantenimiento (correctivo y preventivo) en este tipo de empresa.

Tener en cuenta que: el proceso de mantenimiento correctivo se inicia con la falla y un diagnóstico para determinar por qué la falla apareció. El proceso de diagnóstico puede incluir la inspección física de un sistema, el uso de un equipo de diagnóstico para evaluar el sistema, y las entrevistas con los usuarios del equipo. Es importante determinar qué causó el problema, a fin de tomar las medidas adecuadas.

Tenga presente que: los elementos necesarios para el mantenimiento correctivo son:

- Personal
- Equipo
- Repuestos
- Organización y actividades de control.

3.5. Mantenimiento predictivo

3.5.1. Conceptos básicos de mantenimiento predictivo

“El mantenimiento predictivo es el conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico de un sistema, que permiten una intervención correctora inmediata como consecuencia de la detección de algún síntoma de fallo”(<http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/teoria-de-maquinas/lecturas/MantenimientoIndustrial.pdf>).

Este tipo de mantenimiento se basa en el hecho de que la mayoría de los fallos se producen lentamente y previamente arrojan algunos indicios evidentes de un futuro fallos, ya sea a simple vista o mediante la monitorización.

Las ventajas del mantenimiento predictivo son:

1. Detección temprana de fallas incipientes que se convierten las fallas en rutinas programadas de mantenimiento.
2. Aumento del periodo entre revisiones detalladas e inspecciones generales de mantenimiento preventivo.
3. Ahorro y disminución del inventario de repuestos.
4. Corrección de problemas en los montajes que ocasionan fallas recurrentes.
5. Diminución de los tiempos muertos ocasionados por los paros de los equipos que son necesarios para realizar las reparaciones programadas.

Las desventajas son:

1. Requiere personal altamente capacitado e instrumentación de análisis de alto costo.
2. No es viable una monitorización de todos los parámetros funcionales significativos, por lo que pueden presentarse averías no detectadas por el programa de vigilancia.
3. Se pueden presentar fallas en el intervalo de tiempo comprendido entre dos medidas consecutivas.

Las principales aplicaciones del programa de mantenimiento predictivo son:

1. Maquinaria rotativa
2. Motores eléctricos
3. Equipos estáticos
4. Equipos de instrumentación

Los monitoreos de las condiciones del equipo pueden llevarse a cabo de la siguiente forma:

1. Control que puede llevarse a cabo sin interrupción de la operación del equipo
2. Control que requiere la parada del equipo, o al menos alejarse de sus condiciones normales de funcionamiento.

3.5.2. implementación del mantenimiento predictivo

Antes de implementar un programa de mantenimiento predictivo es necesario realizar un análisis profundo de las condiciones de la empresa que evalúe y resuelva las alternativas iniciales basándose en los siguientes pasos:

- ✘ Establecimiento de la necesidad del sistema: para esto se requiere un análisis de los siguientes aspectos:
 1. Criterio económico: relaciona la inversión en mantenimiento, incluyendo: costos directos, costos del tiempo muerto, costos de personal y demás recursos físicos.
 2. Criterio estratégico: evalúa el impacto de factores como: el volumen de fallas, cantidad de equipos importantes, comportamiento de los equipos, recursos destinados para el mantenimiento, interdependencia de los equipos en el proceso productivo.
- ✘ Ajuste de la estructura organizacional del departamento de mantenimiento: para realizar las inspecciones se requiere personal capacitado y constantemente actualizado para que puedan atender las necesidades de mantenimiento de la empresa.
- ✘ Evaluación de las alternativas de operación: existen varias alternativas para la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo, y se mencionan a continuación:
 1. Contratación del servicio: es la opción más sencilla y económica. Cumple con los propósitos de información, capacitación y prueba. Es una alternativa ágil y existen en el mercado gran cantidad de empresas especializadas en la prestación de este servicio.
 2. Medición de variaciones y servicio de análisis: es la opción donde la empresa adquiere los equipos para diagnóstico. Esta alternativa tiene la ventaja de adquirir una menor dependencia con el diagnóstico realizado por empresas contratistas, las cuales solo realizan los análisis especializados mientras se capacita al personal propio de la empresa.
 3. Medición y análisis con equipos propios: requiere la adquisición del equipo de análisis adecuado y la asignación de personal capacitado para su operación. Esta alternativa permite eliminar las paradas de la planta por el alto costo de tiempo perdido.
- ✘ Determinación del sistema de control: se recomienda clasificar a los equipos dentro de las categorías que se exponen a continuación:

1. Equipos de propósito general: son equipos no críticos y pueden ser inspeccionados por un técnico experimentado.
2. Equipos mayores o semi críticos: debido a que su falla causa paradas mayores, requiere análisis en tiempo real y un monitoreo constante para evitar las fallas. Estos equipos pueden ser atendidos por personal especializado que cuando encuentren anomalías en el comportamiento de la maquina incrementen el control hasta llegar al momento de la reparación.
3. Equipos críticos: la falla de estos equipos causa paradas criticas de producción y requieren un monitoreo constante de los parámetros de operación (temperaturas, presiones, consumo de energía entre otros) que debe ser analizado por el ingeniero encargado del mantenimiento.

3.5.3. Métodos de seguimiento de actividades.

La mayoría de las técnicas de control de condición o estado suponen la aplicación sistemática de métodos aceptados en la industria para el diagnostico de fallos. A continuación se detallan los métodos más comunes:

- ✘ **Análisis vibracional:** para mejorar el rendimiento de los equipos, hay que controlar los parámetros de vibración y otras variables como: temperatura, presión, flujo, amperaje, potencia, entre otros; que proveen información relacionada con el comportamiento de todo el equipo. Hay un gran número de áreas en la empresa donde se emplean las mediciones de vibración para determinar o prevenir una falla. Estas áreas son:
 - a. Mantenimiento predictivo de los equipos de la planta para incrementar la vida útil de los equipos y reducir los tiempos de parada por fallas inesperadas.
 - b. Inspección de equipos nuevos.
 - c. Control de calidad de producción, para garantizar que el producto que sale de la compañía cumple con las especificaciones ofrecidas al cliente. (Apoyo en comercialización)
 - d. Solución de problemas en equipos donde se ha detectado un mal funcionamiento.
 - e. Asistencia en investigación y desarrollo de ingeniería de equipos.
 - f. Selección de espacios para equipos que pueden ser afectados por las fuentes de vibración externa.

Un programa de análisis vibracional debe seguir tres pasos básicos:

1. Detección: es la etapa de verificación de la condición del equipo.
2. Análisis: cuando las mediciones indican que hay un problema con el equipo, el análisis de las mediciones indica la procedencia de la falla.
3. Corrección: dependiendo del grado de severidad de la falla, se programan las tareas correctivas, evitando generar paradas en la producción.

Las fuentes más comunes que causan vibración son:

1. El desbalanceo, que es el desequilibrio de los elementos rotatorios.
 2. El desalineamiento.
 3. Distorsión
 4. Resonancia
 5. Fenómenos críticos, los que se presentan cuando se opera el equipo con las condiciones no especificadas por el fabricante.
 6. Desajuste mecánico.
 7. Rozamiento de piezas
- ✘ Termografía: es una técnica que permite la visión empleando un espectro infrarrojo. Las imágenes obtenidas permiten realizar un análisis de las temperaturas del equipo. Las principales aplicaciones de este método son: inspecciones de sistemas eléctricos, inspecciones aplicadas en industrias siderúrgicas, inspecciones en hornos, conservación de la energía, entre otros.
 - ✘ Prueba de líquidos penetrantes: se emplea esta prueba para detectar poros, grietas, cavidades en las superficies de una pieza del equipo.
 - ✘ Prueba de radiografía
 - ✘ Prueba de partículas magnéticas
 - ✘ Prueba de ultrasonido
 - ✘ Prueba de presión sonora
 - ✘ Análisis de lubricantes: suministra numerosa información utilizable para diagnosticar el desgaste interno del equipo, el estado del lubricante y el ambiente en el que trabaja la máquina.
 - ✘ Método por impulso de choque.

Ejercicio de autoevaluación

Determinar cuales son las pruebas mas empleadas para la detección de fallas (métodos de seguimiento de actividades). Diga en que caso se debe emplear cada una de ellas.

PISTAS DE APRENDIZAJE

Tener en cuenta: el mantenimiento predictivo se basa en el hecho de que la mayoría de los fallos se producen lentamente y previamente arrojan algunos indicios evidentes de un futuro fallos, ya sea a simple vista o mediante la monitorización.

Tenga presente que: antes de implementar un programa de mantenimiento predictivo es necesario realizar un análisis profundo de las condiciones de la empresa

Traer a la memoria que: las herramientas para determinar el estado de los equipos:

- Termografía
- Análisis vibracional
- Prueba de líquidos penetrantes
- Prueba de radiografía
- Prueba de partículas magnéticas
- Prueba de ultrasonido
- Prueba de presión sonora
- Análisis de lubricantes
- Método por impulso de choque.

3.6. Mantenimiento productivo total

3.6.1. Conceptos generales del mantenimiento productivo total

“El mantenimiento productivo total (MPT) es un enfoque gerencial para el mantenimiento que se centra en la participación de todos los empleados de una organización en la mejora del equipo” (Duffuaa, 2009)

Las cinco metas claves del MPT son:

1. Maximizar la eficacia global del equipo, que incluye disponibilidad, eficiencia en el proceso y calidad del producto.
2. Aplicar un enfoque sistemático para la confiabilidad, la factibilidad del mantenimiento y los costos del ciclo de vida del equipo.
3. Hacer participar a operaciones, administración de materiales, mantenimiento, administración de control e ingeniería del equipo.

4. Involucrar a todos los niveles gerenciales y a los trabajadores.
5. Mejorar el rendimiento del equipo mediante actividades de grupo pequeños y el desempeño del equipo de trabajadores.

Para maximizar la efectividad de los equipos de producción, el MPT trata de eliminar las principales pérdidas de las plantas:

1. Las debidas a los tiempos de parada, ya sean programadas, por averías o por ajustes de la producción.
2. Pérdidas de producción, ya sean por operaciones anormales o normales (pérdidas al para o poner en marcha)
3. Pérdidas por defectos de calidad en la producción.
4. Pérdidas por reprocesamiento.

Los aspectos más relevantes del MPT son:

- ✘ “La formación y el adiestramiento del personal en técnicas de operación, mantenimiento y en técnicas de gestión. La mejora de la formación de los operarios influye no solo en los resultados de la empresa sino que aumenta la satisfacción de las personas y el orgullo por el trabajo”. (<http://www.4shared.com/office/QLC2lj9q/18358130-Libro-de-Mantenimient.html>)
- ✘ El mantenimiento autónomo, realizado por los operarios de producción, trata de eliminar las barreras entre producción y mantenimiento.
- ✘ El departamento de producción al estar en contacto más íntimo con los equipos es el que puede evitar rápido deterioro, eliminando fugas, derrames y todo lo que se pueda detectar una inspección y limpieza exhaustiva y eliminar con medios simples a su alcance.
- ✘ el departamento de mantenimiento no se limita a realizar reparaciones sino que aplican técnicas de mantenimiento especializado que aseguren un mantenimiento eficaz, aumentando la confianza de los trabajadores.

3.6.1.1 Administración del equipo

La meta fundamental del MPT con respecto al equipo es aumentar su eficacia hasta su máximo potencial y mantenerlo en dicho nivel. Las siguientes pérdidas limitan la eficacia del equipo:

1. Fallas del equipo:
2. Tiempo muerto por preparación y ajustes:
3. Trabajo en vacíos y paros menores: la producción puede verse afectada por un mal funcionamiento de una máquina o porque esta ociosa entre la elaboración de dos

- productos. Las fuentes de estas pérdidas deben identificarse y eliminarse. La eliminación de los paros menores es una condición previa y esencial para la producción automatizada.
4. Reducción de la velocidad: este tipo de pérdidas corresponden a la diferencia entre la velocidad de diseño del equipo y la velocidad de operación real.
 5. Defectos del proceso: estos constituyen pérdidas en calidad ocasionadas por fallas en el proceso.
 6. Rendimiento reducido: consiste en las pérdidas de arranque que ocurren durante las primeras etapas de producción, desde el principio hasta su estabilización.

Las seis pérdidas anteriores afectan la disponibilidad del equipo, su eficiencia y calidad del producto en la siguiente forma:

1. La disponibilidad del equipo se ve afectada por la preparación y los ajustes por fallas del equipo.
2. La eficiencia del equipo se ve afectada por trabajar en vacío, paros menores y reducción de la velocidad.
3. El rendimiento reducido y los defectos del proceso afectan la calidad del producto.

La eficacia global del equipo esta dada por:

Eficacia global del equipo

$$= \text{Disponibilidad} \times \text{Eficiencia del desempeño} \times \text{Tasa de calidad}$$

En donde:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de carga} - \text{Tiempo muerto}}{\text{Tiempo de carga}}$$

El tiempo muerto planeado se refiere al tiempo muerto programado en el plan de producción, como actividades de mantenimiento programado y administración.

$$\text{Eficiencia del desempeño} = \frac{\text{Tiempo teórico el ciclo} + \text{Cantidad procesada}}{\text{Tiempo de operación}}$$

$$\text{Tasa de calidad} = \frac{\text{Cantidad procesada} - \text{Cantidad defectuosa}}{\text{Cantidad procesada.}}$$

La meta del mantenimiento deberá ser conservar el equipo en un estado en que se produzcan cero defectos.

3.6.1.2 Implementación del mantenimiento productivo total

Los siguientes son los doce pasos para la implementación del MPT:

1. Anunciar la decisión de la alta dirección de introducir el MPT
2. Lanzar una campaña educativa para introducir el MPT
3. Crear organizaciones para promover el MPT
4. Establecer políticas básicas de MPT
5. Formular un plan maestro para el desarrollo del MPT
6. Mantener el impulso del MPT
7. Mejorar la eficacia de cada equipo.
8. Desarrollar un programa autónomo de mantenimiento.
9. Desarrollar un programa de mantenimiento programado para el departamento de mantenimiento.
10. Llevar a cabo una capacitación para mejorar las destrezas en operaciones y mantenimiento.
11. Desarrollar un programa eficaz de administración.
12. Perfeccionar la implementación del MPT y elevar sus niveles.

Ejercicio de autoevaluación

1. Consulte la historia del concepto de mantenimiento productivo total.
2. ¿Cuáles son las seis pérdidas que el mantenimiento productivo total busca reducir?
3. Buscar un caso de una empresa donde este implementado este tipo de mantenimiento.

PISTAS DE APRENDIZAJE

Tener en cuenta: la meta fundamental del Mantenimiento Productivo Total con respecto al equipo es aumentar su eficacia hasta su máximo potencial y mantenerlo en dicho nivel

Tenga presente: el departamento de producción al estar en contacto más íntimo con los equipos es el que puede evitar rápido deterioro, eliminando fugas, derrames y todo lo que se pueda detectar una inspección y limpieza exhaustiva y eliminar con medios simples a su alcance.

4. PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO

4.1. Relación de conceptos

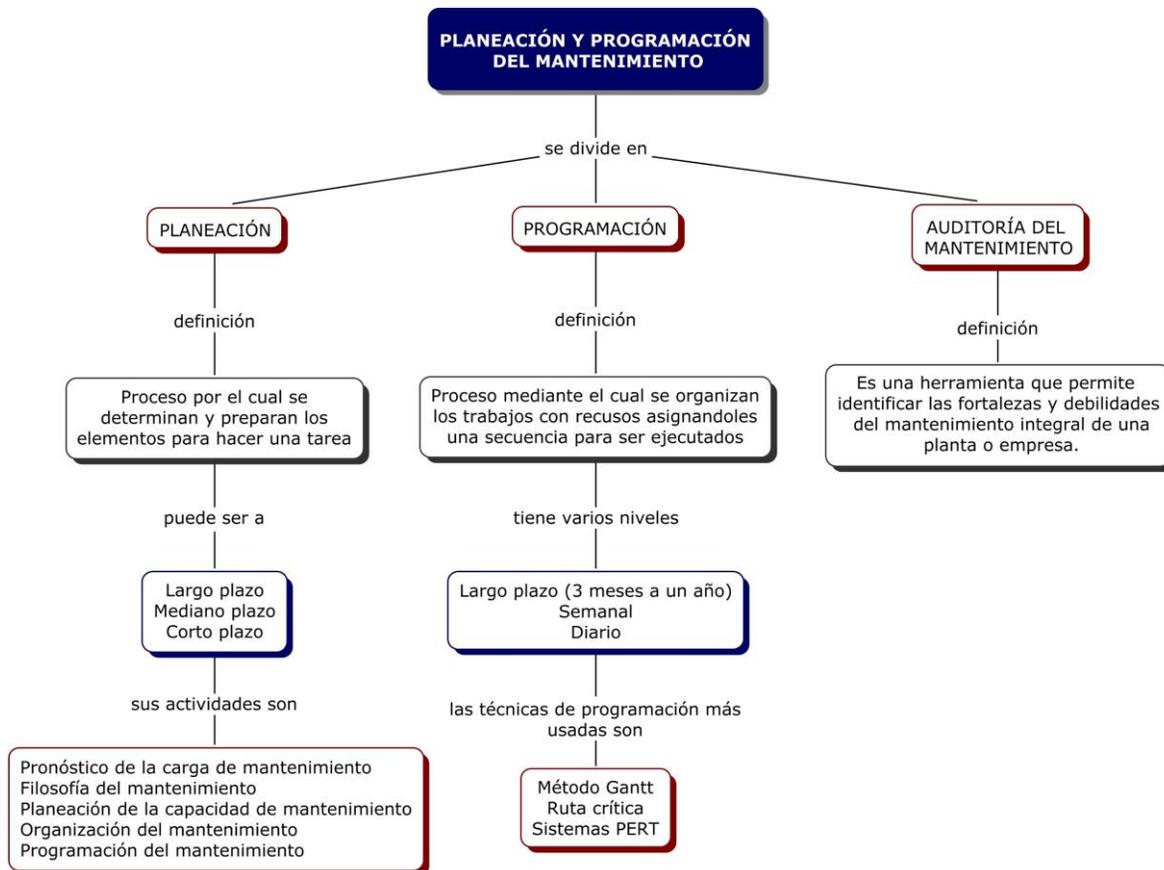


Figura 6. Mapa conceptual Planeación y programación del mantenimiento.

Elaborada por la Ingeniera Agroindustrial Laura Marcela Trujillo Vargas

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar y programar planes de mantenimiento que sean solución de los problemas de las empresas en el área de mantenimiento industrial, aplicando herramientas de control que mejoren la condición de los equipos y sistemas del proceso productivo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✘ Conocer la influencia de la programación del mantenimiento en las tareas de producción.
- ✘ Reconocer los métodos de programación del mantenimiento.
- ✘ Identificar los pasos para realizar un auditoria del mantenimiento.

4.2. Prueba inicial

1. ¿Cuáles son los objetivos de la planeación y programación del mantenimiento?
2. ¿Qué entiende por auditoria del mantenimiento?

4.3. Planeación del mantenimiento

4.3.1. Concepto de planeación de mantenimiento

La planeación del mantenimiento se refiere al proceso mediante el cual se determinan y preparan todos los elementos requeridos para efectuar una tarea antes de iniciar el trabajo. Un procedimiento de planeación eficaz debe incluir los siguientes pasos:

1. Determinar el contenido de trabajo
2. Desarrollar un plan de trabajo. Este comprende la secuencia de actividades de trabajo y el establecimiento de los mejores métodos y procedimientos para realizar el trabajo.
3. Establecer el tamaño de la cuadrilla para el trabajo
4. Planear y solicitar las partes y los materiales requeridos.
5. Verificar si se necesitan equipos o herramientas especiales y obtenerlos.
6. Asignar las tareas a los trabajadores de la cuadrilla, dependiendo de las destrezas de cada uno.
7. Revisar los procedimientos de seguridad.
8. Establecer prioridades (urgentes, de rutina y programadas) para todo trabajo de mantenimiento.
9. Completar la orden de trabajo.
10. Revisar los costos del mantenimiento.

11. Revisar los trabajos pendientes y desarrollar planes para su control.
12. Predecir la carga de mantenimiento.

La planeación de un trabajo de mantenimiento requiere personal con las siguientes cualidades:

1. Pleno conocimiento de los métodos de producción empleados en toda la planta.
2. Experiencia que le permita estimar la mano de obra, los materiales y los equipos necesarios para llevar a cabo la orden de trabajo.
3. Habilidades de comunicación.
4. Conocimiento de herramientas de planeación y programación de tareas.

La oficina de planeación debe estar ubicada en un lugar central, y su organización depende del tipo de organigrama existente en la empresa.

El proceso de planeación puede dividirse en tres etapas:

1. Planeación a largo plazo (cubre un periodo de 3 a 5 años): establece planes para actividades futuras y mejoras a largo plazo.
2. Planeación a mediano plazo (planes a 1 mes y hasta un año): especifica como operara la fuerza de trabajo de mantenimiento y aporta detalles para reparaciones generales mayores, trabajos de construcción, planes de mantenimiento preventivo, paros de la planta y programación de vacaciones. Este plan equilibra la necesidad de personal a lo largo del periodo cubierto y las necesidades de materiales
3. Planeación a corto plazo (planes diarios y semanales): se concentra en la determinación de todos los elementos necesarios para realizar tareas industriales por adelantado.

4.3.2. Actividades de planeación del mantenimiento

Las actividades de planeación del mantenimiento incluyen:

- ✘ **Filosofía del mantenimiento:** es básicamente la de tener un nivel mínimo de personal de mantenimiento que sea consistente con la optimización de la producción y la disponibilidad de la planta sin que se vea comprometida la seguridad de la misma. Para lograr esta filosofía se deben tener en cuenta los siguientes conceptos:
 - a. **Mantenimiento correctivo:** solo se realiza cuando el equipo sea incapaz de seguir operando. No hay elementos de planeación para este tipo de mantenimiento.

- b. Mantenimiento preventivo basado en el tiempo o en el uso: se lleva a cabo de acuerdo a las horas de funcionamiento o un calendario establecido. Requiere alto nivel de planeación.
 - c. Mantenimiento preventivo basado en las condiciones: la condición del equipo se determina vigilando los parámetros de operación del mismo, los cuales se ven afectados por la condición de este.
 - d. Mantenimiento de oportunidad: se llevan a cabo cuando se presenta la oportunidad, como en los casos de periodos de paros generales programados de un sistema.
 - e. Detección de fallas: es un acto o inspección que se lleva a cabo para evaluar el nivel de presencia inicial de fallas.
 - f. Modificaciones al diseño: se lleva a cabo para hacer que el equipo alcance una mejor condición que sea aceptable en ese momento. La modificación del diseño requiere una coordinación con la función de ingeniería y otros departamentos dentro de a organización.
 - g. Reparación general: es un examen completo y el restablecimiento de un equipo o sus partes principales a una condición aceptable.
 - h. Reemplazo: implica reemplazar el equipo en lugar de darle mantenimiento. Puede ser planeado o ante una falla.
- ✘ Pronóstico de la carga de mantenimiento: es el proceso mediante el cual se predice la carga de mantenimiento en la empresa, la cual varía aleatoriamente y puede ser una función de la edad del equipo, nivel de uso, calidad del mantenimiento, factores climáticos, y las destrezas del personal de mantenimiento. Este pronóstico es vital para alcanzar el nivel deseado de eficacia y uso de los recursos de mantenimiento.
 - ✘ Planeación de la capacidad de mantenimiento: determina los recursos necesarios para satisfacer la demanda de trabajos de mantenimiento. Estos recursos incluyen: la mano de obra, materiales, repuestos, equipo y herramientas.
 - ✘ Organización del mantenimiento: el mantenimiento se puede organizar de forma centralizada, por departamento o áreas. La organización de un sistema de mantenimiento incluye: diseño del trabajo, los estándares de tiempo y la administración de los proyectos.
 - ✘ Programación del mantenimiento: es el proceso de asignación de recursos y personal para los trabajos que deben realizarse en ciertos momentos.

Ejercicio de autoevaluación

- ✘ Defina los elementos de un procedimiento eficaz para la planeación del mantenimiento.
- ✘ ¿Cuáles son los elementos que debe tomar en consideración un programa confiable?

PISTAS DE APRENDIZAJE

Tener en cuenta que: la organización de un sistema de mantenimiento incluye: diseño del trabajo, los estándares de tiempo y la administración de los proyectos.

Tenga presente que: la planeación del mantenimiento se refiere al proceso mediante el cual se determinan y preparan todos los elementos requeridos para efectuar una tarea antes de iniciar el trabajo

Traer a la memoria que: el pronóstico de la carga de mantenimiento es el proceso mediante el cual se predice la carga de mantenimiento en la empresa, la cual varía aleatoriamente y puede ser una función de la edad del equipo, nivel de uso, calidad del mantenimiento, factores climáticos, y las destrezas del personal de mantenimiento

4.4. Programación del mantenimiento

4.4.1. Concepto de programación del mantenimiento

La programación del mantenimiento es el proceso mediante el cual se organizan los trabajos con los recursos y se les asigna una secuencia para ser ejecutados en ciertos tiempos. Una programación de mantenimiento efectiva debe tener en cuenta:

1. Una clasificación de las prioridades de trabajo.
2. Verificar la disponibilidad en la planta de los materiales que se emplearán en el mantenimiento.
3. Programa maestro de producción.
4. Flexibilidad en el programa de mantenimiento.

El programa de mantenimiento puede organizarse en tres niveles, dependiendo de su objetivo final:

1. Programa a largo plazo o maestro (cubre de 3 meses a 1 año): se basa en las órdenes de trabajo de mantenimiento existentes, incluyendo las órdenes de trabajo en blanco, los trabajos pendientes, el mantenimiento preventivo y el mantenimiento de emergencia anticipado. Basado en este programa se pueden identificar los requerimientos de repuestos y materiales y solicitarlos por anticipado. Este tipo de programa debe ser

revisado y actualizado constantemente para reflejar los cambios en los planes y trabajos realizados.

2. Programa semanal: se genera a partir del programa a largo plazo y toma en cuenta los programas actuales de operación y los factores económicos. El programa semanal debe permitir que se cuente con un 15% de la fuerza laboral para los mantenimientos de emergencia.
3. Programa diario: se elabora a partir de la programación semanal y se debe preparar desde el día anterior. Este tipo de programa puede ser afectado por las tareas de mantenimiento de emergencia.

4.4.2. Elementos de la programación de mantenimiento

En todos los tipos de trabajo de mantenimiento son necesarios los siguientes requerimientos:

1. Ordenes de trabajo escrito que derivan de un proceso de planeación. Las órdenes deben explicar el trabajo que se va a realizar, los métodos a seguir, el personal especializado requerido, los repuestos que se necesitan y la prioridad.
2. Estándares de tiempo que se basan en las técnicas de medición del trabajo.
3. Información de la disponibilidad del personal especializado.
4. Información del inventario de repuestos y mecanismos de reabastecimiento.
5. Información sobre la disponibilidad de equipos y herramientas especiales necesarias para el trabajo de mantenimiento.
6. Conocimiento del momento en que las instalaciones estarán disponibles para servicio, sin interrupción al programa de producción.
7. Prioridades bien definidas para el trabajo de mantenimiento.
8. Información de los trabajos pendientes.

El procedimiento de programación deberá incluir:

1. Clasificación de las ordenes de trabajo pendientes por especialidad
2. Priorizar las ordenes de trabajo.
3. Compilar los trabajos completados y pendientes.
4. Considerar la duración de los trabajos, su ubicación, distancia de traslado y posibilidad de combinar tareas en una misma área.
5. Programar trabajos de oficios múltiples al inicio de la jornada.
6. Expedir un programa diario.
7. Autorizar a un supervisor para que asigne los trabajos.

Estos elementos proporcionan al programador los requerimientos y los procedimientos para desarrollar un programa de mantenimiento.

4.4.2.1 Clasificación de las prioridades en los trabajos de mantenimiento

Las prioridades se establecen para asegurar que se programe primero el trabajo mas critico. El sistema de prioridades debe actualizarse periódicamente para reflejar los cambios en las estrategias de operación o mantenimiento. En la siguiente tabla se da una clasificación de los niveles de prioridades:

PRIORIDADES DEL TRABAJO DE MANTENIMIENTO			
PRIORIDAD		Marco de tiempo en el que se debe comenzar el trabajo	Tipo de trabajo
Código	Nombre		
1	Emergencia	Inmediatamente	Trabajo que tiene un efecto inmediato en la seguridad, el ambiente, la calidad o puede parar la operación de producción.
2	Urgente	Próximas 24 horas	Trabajo que tendrá un impacto en la seguridad, el ambiente, la calidad o puede parar la operación de producción.
3	Normal	Próximas 48 horas	Trabajo que tendrá un impacto en la producción dentro de una semana.
4	Programado	Según este programado	Mantenimiento preventivo y de rutina.
5	Aplazable	Cuando se cuente con los recursos o en un periodo de paro	Trabajo que no tiene impacto inmediato en la seguridad, ambiente o las operaciones de producción.

Tabla realizada por la Ingeniera Agroindustrial Laura Marcela Trujillo Vargas

4.4.2.2 Criterios para definir prioridades

Los criterios que se emplean para definir la prioridad en los trabajos de mantenimiento son de tres tipos:

1. De producción: son los que miden la importancia del equipo dentro del proceso productivo y depende de los siguientes factores: capacidad, influencia, rentabilidad y riesgo.
2. De mantenimiento: miden la importancia del equipo de acuerdo a sus necesidades particulares de mantenimiento, entre los que se pueden enumerar: Costo de hacer o no el trabajo; disponibilidad de mano de obra; velocidad y gravedad del deterioro del equipo y riesgo de postergación del mantenimiento.
3. De autoridad: son aquellos que son determinados por el grado de autoridad que tienen las personas que toman las decisiones en el departamento de mantenimiento, y debe ser empleado cuando los criterios productivos y de mantenimiento no determinan la prioridad inmediata.

4.4.2.3 Técnicas de programación

Un programa de mantenimiento es la relación de actividades que se ubican en el tiempo y en el espacio con el fin de obtener resultados eficientes y económicos. Para lograr este objetivo es necesario determinar las actividades requeridas, los tiempos, los departamentos implicados en el proceso, el requerimiento de fuerza de trabajo y material.

La programación de las tareas de mantenimiento se puede realizar con mayor eficacia empleando técnicas administrativas conocidas como métodos de planeación, que permiten la conexión de tareas y se pueden aplicar a los trabajos programados en el mantenimiento. A continuación se exponen los métodos de programación mas conocidos:

- ✘ Método de Gantt: “El gráfico de Gantt permite identificar la actividad en que se estará utilizando cada uno de los recursos y la duración de esa utilización, de tal modo que puedan evitarse periodos ociosos innecesarios y se dé también al administrador una visión completa de la utilización de los recursos que se encuentran bajo su supervisión” (<http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger/diaggantaleja.htm>). Esta grafica muestra el momento de inicio y terminación de cada actividad en una escala horizontal. Los trabajos programados se trazan a la derecha en una escala calendárica horizontal y en forma de barras sin sombrear, cuya longitud indica el tiempo esperado de

duración del trabajo. El tiempo real se expresa empleando una barra sombreada superpuesta. Algunas de las ventajas de este sistema son:

1. Implica la elaboración de un plan, lo que es un adelanto para operaciones más eficaces.
2. Es útil para comparar la labor planeada y la realizada.
3. Son fáciles de elaborar.

Su principal desventaja es que muestra los problemas o demoras que se presentan en las actividades, es decir no es predictiva.

Para construir un diagrama de Gantt se deben seguir los siguientes pasos:

1. Dibujar los ejes vertical y horizontal
2. Escribir los nombres de las tareas sobre el eje vertical
3. Dibujar los bloques que corresponden a las tareas que no tienen actividades previas. Se sitúan de tal forma que el lado izquierdo de los bloques coincida con el inicio del proyecto.
4. Se dibujan los bloques correspondientes a las tareas que dependen de las tareas que ya fueron introducidas en el diagrama. Se debe tener en cuenta: las dependencias final-final se representan alineando los finales de los bloques de la tarea inicial y dependiente. Las dependencias fin-inicio se representa alineando el final del bloque de la tarea inicial con el comienzo de la tarea dependiente.

✘ Método de la ruta crítica (CPM): “es frecuentemente utilizado en el desarrollo y control de proyectos. El objetivo principal es determinar la duración de un proyecto, entendiendo éste como una secuencia de actividades relacionadas entre sí, donde cada una de las actividades tiene una duración estimada”

(<http://www.investigaciondeoperaciones.net/cpm.html>)

Las principales ventajas de este método son:

1. Implica la determinación de eventos específicos y definidos
2. Requiere la delimitación de las actividades con su tiempo de duración.
3. Los aspectos críticos de cada actividad se evidencian antes de que ocurran.
4. Suministra información dinámica y actualizada.

Los componentes de un diagrama de flechas es el siguiente:

1. Acontecimientos que son puntos claramente definidos en el señalamiento del tiempo en que comienza o termina una actividad.
2. Actividades, que son las que se desarrollan entre acontecimientos y corresponden a tareas definidas en las que se aplica una determinada cantidad de mano de obra y otros recursos.
3. Tiempos de duración de cada una de las actividades.
4. Red: es el diagrama que muestra las interdependencias de las actividades y que define las secuencias correspondientes.
5. Camino crítico: es la secuencia de actividades de mayor duración que determina el tiempo necesario para realizar la tarea asignada.
6. Holgura: es el tiempo disponible en las demás secuencias diferentes de la ruta crítica.

Los siguientes son los pasos necesarios para la aplicación del método de la ruta crítica:

1. Definir el proyecto con las actividades principales
 2. Establecer la relación entre actividades.
 3. Desarrollar el diagrama de red del proyecto, mostrando todas las relaciones de precedencia entre actividades.
 4. Definir los costos y tiempo estimado para cada actividad.
 5. Realizar los cálculos del método de la ruta crítica, lo que permite identificar los trabajos críticos y los trabajos no críticos.
 6. Realizar el acortamiento del proyecto para reducir la duración del proyecto e investigar las ventajas o desventajas en costos.
 7. Nivelar los recursos con el fin de asegurar requerimientos uniformes de fuerza laboral para optimizar la contratación.
- ✘ Sistema PERT: “su fundamento lo constituye el gráfico de redes, que representa el trabajo necesario para alcanzar un objetivo. El PERT está orientado hacia la evaluación del progreso del proyecto hacia sus objetivos, concentra la atención sobre los problemas potenciales o reales del proyecto, proporciona a los responsables informes frecuentes y precisos del estado del mismo, predice la verosimilitud de alcanzar los objetivos y determina el menor espacio de tiempo en el que puede realizarse el proyecto” (http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/manual_pert/manual_pert.htm)

Las principales ventajas de este sistema son:

1. Muestra las relaciones de dependencia de las actividades.
2. Exige el tiempo del cálculo esperado de todas las actividades y revela la incertidumbre que puede existir.
3. Señala los aspectos críticos antes de que ocurran.

4. Predice la probabilidad de cumplir con el programa.

El PERT emplea un enfoque de tres tiempos, que se explican a continuación:

1. Tiempo optimista (t_o): que es el tiempo que necesita para efectuar la actividad sin presentar dificultades en su desarrollo
2. Tiempo pesimista (t_p): es el tiempo que se necesita para ejecutar una actividad si se presentan inconvenientes e imprevistos
3. Tiempo más probable (t_m): es aquel que necesita cada actividad para su realización. Su estimación esta basada en la experiencia y considera algunos imprevistos.

Empleando los tres tiempos estimados, se determina el tiempo esperado (T_e) mediante la siguiente ecuación:

$$T_e = \frac{T_o + 4T_m + T_p}{6}$$

Con este valor se realizan los cálculos para resolver la red y determinar la ruta critica como se hace en el método de la ruta critica. Este sistema permite determinar la probabilidad de éxito o de cumplir con la programación mediante el calculo de las holguras y la incertidumbre del tiempo esperado para cada actividad. La desviación estándar es una medida de la incertidumbre de una estimación. La varianza para cada actividad se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$\sigma \times T_e^2 = \frac{(T_p - T_o)^2}{36}$$

Cuando la varianza es pequeña indica que las estimaciones son precisas, mientras que si es alta indica que existe una gran incertidumbre.

Ejercicio de autoevaluación

1. Mencione tres beneficios y deficiencias del método de la ruta critica
2. Dados los elementos de un trabajo importante de mantenimiento en la siguiente tabla:

N°	Trabajo	Tiempo normal (Horas)	Tiempo reducido (Horas)	Costo normal	Costo reducido	Trabajos que lo preceden	Número de trabajadores necesarios para el mantenimiento
1	A	5	4	10	15	0	2

2	B	7	5	15	20	0	3
3	C	8	5	20	25	B	3
4	D	5	4	15	25	C, A	2
5	E	10	6	40	50	0	5
6	F	7	5	15	25	E,D	3
7	G	12	8	30	40	B	5
8	H	5	4	10	20	F, G	4

- a. Desarrolle el diagrama de red
 - b. Programe los trabajos de manera que el nivel de personal sea tan uniforme como sea posible
 - c. Presente el diagrama de Gantt (para ver como se elabora empleando Excel, se recomienda el siguiente link: <http://www.youtube.com/watch?v=kGBEcdBNOPs>)
3. Investigar sobre los métodos de medición del trabajo de mantenimiento. Hacer un resumen y con un ejemplo decir como se aplica en la programación del mantenimiento.

PISTAS DE APRENDIZAJE

Tener en cuenta: la programación del mantenimiento es el proceso mediante el cual se organizan los trabajos con los recursos y se les asigna una secuencia para ser ejecutados en ciertos tiempos.

Tenga presente que: las prioridades se establecen para asegurar que se programe primero el trabajo mas critico.

Traer a la memoria que: la programación de las tareas de mantenimiento se puede realizar con mayor eficacia empleando técnicas administrativas conocidas como métodos de planeación, que permiten la conexión de tareas y se pueden aplicar a los trabajos programados en el mantenimiento

4.5. Control de las actividades de mantenimiento

4.5.1. Auditoria del mantenimiento

“La auditoría de mantenimiento es una herramienta que permite identificar las fortalezas y debilidades del mantenimiento integral de una planta o empresa”. (<http://www.spm-ing.com/servicios/auditorias/>). Para que el sistema de mantenimiento pueda desempeñar su papel, factores como: personal y políticas de organización, capacitación, motivación del personal, control administrativo, instalaciones, almacenes y material y sistemas de información deben estar bien diseñados y constantemente deben ser evaluados.

Las auditorias de mantenimiento sirven para:

- ✘ Determinar si la gestión de los principales aspectos relacionados con el mantenimiento es adecuada.
- ✘ Puede emplearse para la contratación de seguros.
- ✘ Es una herramienta de mejora, pues detecta puntos que no se gestionan correctamente y propone un plan de acción útil.
- ✘ Determina si los contratistas están realizando un trabajo adecuado en las instalaciones o equipos.

4.5.1.1 Factores que influyen en la productividad del mantenimiento

A continuación se exponen los factores más significativos en el esquema de auditoria del mantenimiento:

- ✘ Organización y personal: explican las responsabilidades, la cadena de mando y el tramo de control. La importancia de este factor surge de la necesidad de contar con una estructura organizacional bien diseñada y un intervalo de control eficaz.
- ✘ Productividad de mano de obra: se define como la proporción de las horas estándar de trabajo sobre el número real de horas trabajadas. Este factor se basa en la productividad de los trabajadores. Con este factor la gerencia puede identificar a los trabajadores con baja productividad y establecer los motivos de la misma.

- ✘ Capacitación del área administrativa: evalúa la necesidad de capacitación del área administrativa en temas como estándares de trabajo, herramientas de planeación y técnicas para mejorar la productividad.
- ✘ Formación del planificador: el planificador desempeña funciones de planeación y programación del manteniendo, y de estas tareas depende la calidad de los productos elaborados, por lo que se le debe capacitar cuidadosamente.
- ✘ Capacitación de los técnicos
- ✘ Motivación del personal: la productividad del sistema de mantenimiento depende en gran parte de la fuerza laboral. Un elevado estado de ánimo y la motivación son importantes para mejorar la productividad.
- ✘ Control del presupuesto
- ✘ Planeación y programación de las órdenes de trabajo: las ordenes de trabajo son una herramienta necesaria para la planeación y programación eficaces, con el objetivo de realizar trabajos de calidad y que mejorar la producción.
- ✘ Instalaciones: se considera la distribución de la planta, y los espacios adecuados en los talleres y áreas de mantenimiento. También se tienen en cuenta los recursos disponibles para el cumplimiento de las actividades de mantenimiento.
- ✘ Control de almacenes, materiales y herramientas para el mantenimiento: este factor hace énfasis de un sistema de inventarios actualizado y procedimientos claros para la administración de las herramientas.
- ✘ Mantenimiento preventivo e historia del equipo: los datos históricos del equipo son una herramienta clave para controlar el trabajo de mantenimiento. Este factor se refleja fuertemente en la capacidad del mantenimiento para evitar fallas inesperadas. Además, su calificación identificara la necesidad de mejorar el programa de mantenimiento preventivo.
- ✘ Medición del trabajo; este factor se ocupa del establecimiento de tiempos estándar para los trabajos típicos. . La calificación de este factor identifica la necesidad de establecer tiempos estándar de mantenimiento o revisar y actualizar los existentes.
- ✘ Ingeniería del mantenimiento: hace énfasis en las rutinas de diagnostico y establecer un programa de mantenimiento basado en condiciones, lo cual es muy importante para el mantenimiento predictivo.
- ✘ Sistemas de información: los sistemas de información son una herramienta para la administración y control adecuado. Debe diseñarse de tan forma que cumpla con los requerimientos de la administración del mantenimiento (información actualizada, posibilidad de generación de reportes e informes)

4.5.1.2 Análisis de los factores deficientes y medidas correctivas

Para desarrollar los programas de mejora, es necesario corregir los factores deficientes identificados en el análisis ABC, grafica de pareto

(http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/diagrama_de_pareto.pdf). Un análisis ABC divide los factores en tres clases:

1. Clase A: que contiene aproximadamente del 15 al 20% de los factores y es responsable del 70 al 80% de los costos.
2. Clase B: contiene del 20 al 25% de los factores y es responsable del 20 al 25% del costo
3. Clase C: esta compuesta por los factores restantes, que son responsables del 5% del costo.

Después de obtener el peso de cada factor, una calificación combinada de auditoria se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Indice de auditoia de mantenimiento} = \frac{\sum_{i=1}^{14} w_i S_i}{\sum_{i=1}^{14} w_i I_i} = \frac{\sum_{i=1}^{14} w_i S_i}{10}$$

Donde:

W_i : peso normalizado de del factor i

S_i : calificación del factor i

I_i : máxima calificación del factor i, es 10 para todos los factores (son 14 factores)

“Para identificar los factores mas deficientes y establecer prioridades para la mejora de los factores se realiza un análisis ABC con base en la desviación ponderada porcentual (PWD_i) respecto a la calificación ideal ponderada”. (Duffuaa, 2009). Se emplean las siguientes ecuaciones:

$$d_i = w_i(I_i - S_i)$$

$$PWD_i = \left[\frac{d_i}{\sum_{i=1}^{14} d_i} \right] \times 100$$

El análisis anterior ayuda en la identificación de los factores que son responsables de la desviación respecto a la calificación ideal basada en sus calificaciones e importancia. A continuación se presentan algunos parámetros para corregir los factores deficientes:

- ✘ Organización y personal: si se encuentra que la organización y personal muestran deficiencias, las acciones correctivas son:
 1. Establecer de forma adecuada la relación planificador-operario y supervisor-operario.
 2. Elaborar una descripción de cada puesto de trabajo.
 3. Emplear políticas escritas para el control de la mano de obra.

- ✘ Productividad de la mano de obra: si la productividad se clasifica como A o B, se emplean las siguientes correcciones:
 1. Establecer un mecanismo para obtener datos sobre el tiempo real consumido por los trabajadores en el desarrollo de las tareas de mantenimiento.
 2. Calcular el índice de productividad compuesta empleando la siguiente fórmula

$$\text{Índice de productividad compuesta} = \frac{\text{Tiempo estandar}}{\text{Tiempo rela}} \times \text{Utilización}$$

La utilización es el porcentaje del tiempo que los empleados están ocupado.

1. Revisar los trabajos pendientes por empleado.
- ✘ Capacitación del área administrativa: si la capacitación se clasifica como A o B se debe actualizar anualmente el programa de capacitación para el área administrativa. Esta capacitación debe contener conceptos de productividad, administración de proyectos y supervisión.
 - ✘ Formación del capacitador: las acciones correctivas para la formación del planificador son:
 1. Poner en el puesto de planificador a una persona experimentada
 2. El planificador debe estar coordinado con el área de mantenimiento.
 3. El planificador debe emplear técnicas modernas de planeación y programación.
 - ✘ Capacitación de los técnicos: las posibles acciones correctivas son:
 1. Establecer un programa anual de entrenamiento en mantenimiento.
 2. Establecer un programa de certificación de técnicos.
 - ✘ Motivación: si la motivación se clasifica como A o B se debe seguir los siguientes pasos:

1. Hacer que el empleado se sienta parte de la empresa
 2. Establecer sistema de bonificaciones
 3. Realizar una encuesta informal para conocer el estado anímico de los empleados.
- ✘ Control del presupuesto: si se encuentra que el control de presupuesto esta en la clase A o B, las acciones correctivas son:
1. Establecer parámetros para la estimación del costo y presupuesto.
 2. Solicitar la elaboración de un informe mensual de mantenimiento.
 3. Emplear el costeo basado en las actividades para la asignación de costos.
- ✘ Planeación y programación de las ordenes de trabajo: si se encuentran deficiencias, las acciones correctivas son:
1. Diseñar una orden de trabajo sencilla.
 2. Computarizar las órdenes de trabajo.
 3. Desarrollar trabajos estándar.
- ✘ Instalaciones: si se encuentran deficiencias, las acciones correctivas que se pueden adoptar son:
1. Reubicar las instalaciones de mantenimiento.
 2. Mejorar las practicas de seguridad del personal
 3. Diseñar programas de mantenimiento preventivo para los equipos importantes en el proceso productivo.
 4. Establecer informes sobre la disponibilidad de los equipos.
- ✘ Control de almacenes, materiales y herramientas para el mantenimiento: si la calificación esta en la clase A o B, las acciones correctivas son:
1. Mantener actualizado el inventario de repuestos.
 2. Establecer una lista de proveedores aprobados.
 3. Revisar y mejorar las políticas de inventarios.
 4. Emplear el método ABC de inventarios para establecer los requerimientos de materiales y los puntos de reorden de repuestos.

- ✘ Mantenimiento preventivo e historia del equipo: las acciones correctivas incluyen lo siguientes:
 1. Establecer un registro de la historia de reparaciones de todos los equipos.
 2. Asignar a una persona la responsabilidad de la planeación, programación y control de las tareas de mantenimiento preventivo.

- ✘ Ingeniería del mantenimiento: las acciones correctivas incluyen:
 1. Establecer rutinas de diagnóstico.
 2. Controlar el tiempo muerto del equipo empleando un mantenimiento predictivo.

- ✘ Medición del trabajo: si se encuentran deficiencias, las acciones correctivas son:
 1. Establecer normas de tiempo para las actividades.
 2. Revisar los registros de los trabajos pendientes y determinar sus causas.
 3. Equilibrar la carga de trabajo.
 4. Revisar los requerimientos de personal

- ✘ Sistemas de información: si se presentan deficiencias, las acciones correctivas son:
 1. Identificar los requerimientos de mantenimiento.
 2. Mejorar el sistema para la recolección de datos.
 3. Desarrollar un sistema de información que cumpla con los requerimientos identificados en el punto 1.

4.5.1.3 Cuestionario de auditoria del mantenimiento

CUESTIONARIO DE AUDITORIA DEL MANTENIMIENTO					
N°	CRITERIO	Graves deficiencias	Deficiencias importantes	Susceptible de mejora	Excelente
		0	1	2	3
1	El organigrama de mantenimiento garantiza la presencia de personal de mantenimiento preparado cuando se necesite				

2	Existe personal que puede considerarse imprescindible cuya ausencia afecta el desarrollo de mantenimiento				
3	El organigrama garantiza que hay personal disponible para realizar el mantenimiento programado				
4	El numero de horas extras que se genera en el área de mantenimiento esta por encima de las horas permitidas				
5	La cualificación previa que se exige al personal del área de mantenimiento es la adecuada				
6	¿Se realiza una formación inicial efectiva cuando se incorpora un nuevo trabajador al área de mantenimiento?				
7	¿Hay un plan de formación para el personal de mantenimiento?				
8	¿Este plan de formación hace que los conocimientos en el mantenimiento de la planta mejoren?				
9	¿El plan de formación hace que los conocimientos en otras áreas de la planta mejoren?				
10	¿El personal de mantenimiento mecánico puede realizar todo tipo de tareas (mecánicas, eléctricas o de instrumentación) sencillas?				
11	¿El personal de mantenimiento mecánico puede realizar todo tipo de tareas especializadas (mecánicas, eléctricas o de instrumentación)?				
12	¿El personal de mantenimiento eléctrico puede realizar todo tipo de				

	tareas (mecánicas, eléctricas o de instrumentación) sencillas?				
13	¿El personal de mantenimiento eléctrico puede realizar todo tipo de tareas especializadas (Mecánicas, eléctricas o de instrumentación)?				
14	¿El personal de mantenimiento está capacitado para trabajar en otras áreas?				
15	¿Se respeta el horario de entrada y salida?				
16	Se respeta la duración de los descansos?				
17	¿El promedio de tiempos muertos no productivos es la adecuada?				
18	¿Los tiempos de intervención se ajustan a la duración teórica estimable en que podrían realizarse los trabajos?				
19	¿El personal de mantenimiento se siente reconocido en su trabajo?				
20	¿El personal de mantenimiento siente que la empresa se preocupa de sus necesidades para poder realizar buen trabajo?				
21	¿El personal de mantenimiento considera que tiene proyección profesional dentro de la empresa?				
22	¿El personal de mantenimiento se siente satisfecho con su horario?				
23	¿El personal de mantenimiento se considera bien remunerado?				
24	¿El personal de mantenimiento está comprometido con los objetivos de la empresa?				
25	¿El personal de mantenimiento tiene un buen concepto de sus jefes?				
26	¿El personal de mantenimiento considera que el ambiente del área				

	de operaciones es agradable?				
27	¿El nivel de ausencia entre el personal de mantenimiento es bajo?				
28	¿El nivel de rotación entre el personal de mantenimiento es bajo?				
29	¿Las herramientas mecánicas se corresponden con lo que se necesita?				
30	¿Las herramientas eléctricas se corresponden con lo que se necesita?				
31	¿Las herramientas para el mantenimiento de la instrumentación se corresponden con lo que se necesita?				
32	¿Las herramientas para el mantenimiento predictivo corresponden con lo que se necesita?				
33	¿Las herramientas de taller se corresponden con lo que se necesita?				
34	¿Los equipos de medida están calibrados?				
35	¿Existe un inventario de herramientas?				
36	¿Se comprueba periódicamente el inventario de herramientas?				
37	¿El taller está situado en el lugar apropiado?				
38	¿Está limpio y ordenado su interior?				
39	¿Mantenimiento dispone de los medios de comunicación interna que se necesitan?				
40	¿Mantenimiento dispone de los medios de comunicación con el exterior que se necesitan?				
41	¿Se dispone de los medios de transporte que se necesitan?				

42	¿Se dispone de los medios de elevación que se necesitan (carretillas elevadoras, carretillas manuales, puentes grúa, diferenciales, entre otros)?				
43	¿Existe un plan de mantenimiento que afecte a todas las áreas y equipos significativos de la planta?				
44	¿Hay una programación de las tareas que incluye el plan de mantenimiento (está claro quien y cuando se realiza cada tarea)?				
45	¿La programación de las tareas de mantenimiento se cumple?				
46	¿El Plan de mantenimiento respeta las instrucciones de los fabricantes?				
47	¿Se han analizado los fallos críticos de la planta?				
48	¿El Plan está orientado a evitar esos fallos críticos de la planta y/o a reducir sus consecuencias?				
49	¿El plan de mantenimiento se realiza?				
50	¿La proporción entre horas/hombre dedicadas a mantenimiento programado y mantenimiento correctivo no programado es la adecuada?				
51	¿El número de fallas repetitivas es bajo?				
52	¿El tiempo medio de resolución de una falla es bajo?				
53	¿Hay un sistema claro de asignación de prioridades?				
54	¿Este sistema se utiliza correctamente?				
55	¿El número de falla con el máximo nivel de prioridad (o fallas urgentes) es bajo?				

56	¿El número de fallas pendientes de reparación es bajo?				
57	¿La razón por la que las fallas están pendientes está justificada?				
58	¿Se realiza un análisis de las fallas que afectan a los resultados de la planta?				
59	¿Las conclusiones de estos análisis se llevan a la práctica?				
60	¿Todas las tareas habituales de mantenimiento están recogidas en los procedimientos?				
61	¿Los procedimientos son claros y entendibles?				
62	¿Los procedimientos contienen toda la información que se necesita para realizar cada tarea?				
63	¿El personal de mantenimiento recibe formación en estos procedimientos, especialmente cuando se producen cambios?				
64	¿El proceso de implantación de un nuevo procedimiento es el adecuado?				
65	¿Cuándo el personal de mantenimiento realiza una tarea utiliza el procedimiento aprobado?				
66	¿Los procedimientos de mantenimiento se actualizan periódicamente?				
67	¿Todos los trabajos que se realizan se reflejan en un orden de trabajo?				
68	¿El formato de esta orden de trabajo es adecuado?				
69	¿Los operarios cumplimentan correctamente estas órdenes?				
70	¿Las órdenes de trabajo se introducen en el sistema informático?				

71	¿El sistema informático de mantenimiento resulta adecuado?				
72	¿El sistema informático supone una carga burocrática excesiva?				
73	¿El sistema informático aporta información útil?				
74	¿El sistema informático aporta información fiable?				
75	¿Los mandos de mantenimiento consultan la información contenida en el sistema informático?				
76	¿El personal de mantenimiento consulta la información contenida en el sistema informático?				
77	¿Se emite un informe periódico que analiza la evolución del departamento de mantenimiento?				
78	¿El informe aporta información útil para la toma de decisiones?				
79	¿Se ha elaborado una lista de repuesto mínimo que debe permanecer en stock?				
80	¿Los criterios empleados para elaborar esa lista son válidos?				
81	¿Se comprueba periódicamente que se dispone de ese stock?				
82	¿La lista de stock mínimo se actualiza y mejora periódicamente?				
83	¿Se realizan periódicamente inventarios de repuestos?				
84	¿Los movimientos del almacén se registran de alguna forma (sistema informático, hoja de cálculo, libro, entre otros)?				
85	¿Coincide lo que se cree que se tiene (según los inventarios y el sistema informático) con lo que se tiene realmente?				
86	¿El almacén está limpio y ordenado?				

87	¿El almacén está situado en el lugar adecuado?				
88	¿Es fácil localizar cualquier pieza?				
89	¿Las condiciones de almacenamiento son correctas?				
90	¿Se realizan comprobaciones de material cuando se recibe?				
91	¿La disponibilidad media de los equipos significativos es la adecuada?				
92	¿La disponibilidad media de la planta es la adecuada?				
93	¿La evolución de la disponibilidad es positiva (está aumentado la disponibilidad)?				
94	¿El tiempo medio entre fallos en equipos significativos es el adecuado?				
95	¿La evolución del tiempo medio entre fallos en equipos significativos es positiva?				
96	¿El número de Órdenes de Trabajo de emergencia es bajo?				
97	¿El número de Órdenes de Trabajo de emergencia está descendiendo?				
98	¿El tiempo medio de reparación en equipos significativos es bajo?				
99	¿El tiempo medio de reparación en equipos significativos está descendiendo?				
100	¿El número de averías repetitivas es bajo?				
101	¿El número de averías repetitivas está descendiendo?				
102	¿El número de horas/hombre invertidas en mantenimiento es el adecuado?				
103	¿El número de horas/hombre invertidas en mantenimiento está				

	descendiendo?				
104	¿El gasto en repuestos es el adecuado?				
105	¿El gasto en repuestos está descendiendo?				

RESUMEN RESULTADOS AUDITORÍA DEL MANTENIMIENTO	
Puntos analizados con graves deficiencias	
Puntos analizados con deficiencias importantes	
Puntos analizados susceptibles de mejora	
Puntos analizados con un resultado favorable	
Índice obtenido en mantenimiento:	

Con el cuestionario anterior se pueden establecer los siguientes valores de referencia:

Menos de 40% de conformidad	Sistema de mantenimiento deficiente
40-60% de conformidad	Sistema de mantenimiento aceptable
60-75% de conformidad	Sistema de mantenimiento bueno
75-85% de conformidad	Sistema de mantenimiento muy bueno
Más del 85% de conformidad	Sistema de mantenimiento excelente

4.5.1.4 Frecuencia de auditorias de mantenimiento

Realizar una auditoria de mantenimiento puede ser una actividad que se realiza solo una vez en la vida de la empresa. La periodicidad depende del tipo de empresa y de la situación inicial. Cuanto más grande sea la empresa o cuanto peor sea la situación inicial, resulta recomendable aumentar la frecuencia. Como frecuencias de referencia tenemos:

1. Los tres primeras con intervalos de 3-4 meses
2. A partir de la 4 auditoria, anuales

Ejercicio de autoevaluación

1. Haga una lista de los factores que constituyen el esquema de auditoria de mantenimiento. Señale los más importantes. Justifique su respuesta.
2. ¿Por qué es necesario el método ABC en el programa de mejora continua?
3. Visite una empresa de su área y realice el programa de auditoria empleando las herramientas vistas en este tema. Dar conclusiones y sugerir mejoras.

PISTAS DE APRENDIZAJE

Tener en cuenta que: la periodicidad de una auditoria de mantenimiento depende del tipo de empresa y de la situación inicial. Cuanto mas grande sea la empresa o cuanto peor sea la situación inicial, resulta recomendable aumentar la frecuencia.

Traer a la memoria que: los sistemas de información son una herramienta para la administración y control adecuado. Debe diseñarse de tan forma que cumpla con los requerimientos de la administración del mantenimiento (información actualizada, posibilidad de generación de reportes e informes)

5. PISTAS DE APRENDIZAJE

Tener en cuenta que: los programas de mantenimiento de la planta tienen como objetivo principal lograr que sus unidades componentes trabajen económicamente en forma normal durante todo su periodo de vida útil. Forman parte del programa el registro de datos, la programación de las actividades, las normas técnicas, los recursos humanos y materiales y los controles necesarios para su desarrollo y la evaluación correspondiente.

Tenga presente que: una función importante del jefe de mantenimiento es la organización y análisis de los archivos de información del historial de los equipos. Con esta información se deben establecer los cambios o mejoras en los planes

Traer a la memoria que: un plan de mantenimiento moderno consiste en la combinación de varias estrategias que deben ser escogidas para mantener la planta.

Tener en cuenta que: el mantenimiento preventivo tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema. Se realiza a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento

Tenga presente que el mantenimiento predictivo consiste en determinar en cualquier instante la condición técnica real de la máquina examinada, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento, para ello se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo

Traer a la memoria que: el mantenimiento procura contribuir por todos los medios disponibles a reducir, en lo posible, el costo final de la operación de la planta. De este se desprende un objetivo técnico por el que se trata de conservar en condiciones de funcionamiento seguro y eficiente todo el equipo, maquinaria y estructuras.

6. GLOSARIO

Auditoria: es una actividad documentada que se realiza para determinar mediante investigación, examen y evaluación de evidencias el cumplimiento de procedimientos establecidos, instrucciones, especificaciones, códigos, normas, programas y otros documentos aplicables, así como la efectividad de su implementación.

Confiabilidad: característica de un equipo o instalación que se mide por el tiempo promedio en que puede operar entre fallas consecutivas

Equipo: elemento que constituye el todo o parte de una maquina o instalación que por sus características, tiene datos, historial y programas de mantenimiento propios.

Falla: la terminación de la capacidad del equipo para realizar la función requerida.

Mantenimiento: la combinación de todas las acciones técnicas y acciones asociadas mediante las cuales un equipo sistema se conserva o repara para que pueda cumplir con sus funciones específicas.

Mantenimiento correctivo: el mantenimiento que se lleva a cabo después de que ocurre una falla y que pretende restablecer el equipo a un estado en el que pueda realizar la función requerida.

Mantenimiento planeado: el mantenimiento organizado y realizado con premeditación, control y el uso de registros para cumplir con un plan predeterminado.

Mantenimiento preventivo: el mantenimiento realizado a intervalos predeterminados o con la intención de minimizar la probabilidad de falla o la degradación del funcionamiento del equipo.

Orden de trabajo: es el instructivo por el cual se indica a los sectores operativos de mantenimiento ejecutar una tarea.

Programa de mantenimiento: una lista completa de las tareas de mantenimiento requeridas, incluyendo los intervalos con que debe realizarse el mantenimiento.

Reparación: el restablecimiento de un equipo a una condición aceptable mediante la renovación, reemplazo o reparación general de piezas dañadas o desgastadas.

7. BIBLIOGRAFÍA

Auditoria del mantenimiento. Recuperado el 4 de marzo de 2012, del sitio web de SPM, ingeniería en mantenimiento, <http://www.spm-ing.com/servicios/auditorias/>

Concepto mantenibilidad. Recuperado el 20 de marzo de 2011, del sitio web de la Universidad de las Américas Puebla: <http://www.udlap.mx/>

Definición mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo. Recuperado el 23 de febrero de 2012, del sitio web Solo mantenimiento: <http://www.solomantenimiento.com/>

Definición mantenimiento predictivo. Recuperado el 3 de marzo de 2012, del sitio web de la Universidad Carlos III de Madrid. : <http://ocw.uc3m.es>

Definición Benchmarking. Recuperado el 18 de marzo del sitio web de gerencia: <http://www.degerencia.com>

Definición mantenimiento correctivo. Recuperado del 5 de marzo del sitio web de Formación y servicios: <http://www.formacionyservicios.net>

Definición mantenimiento. Recuperado el 19 de marzo de 2012, del sitio web de Mi tecnológico: <http://www.mitecnologico.com>

Definición reingeniería. Recuperado el 19 de marzo del 2012, del sitio web de Scribd: <http://es.scribd.com>

El manual de mantenimiento. Recuperado el 20 de marzo de 2012, del sitio web de Red HUCYT : <http://www.redhucyt.oas.org>

El mejoramiento continuo: conceptos para el mantenimiento industrial. Recuperado el 21 de febrero de 2012, del sitio web de la Universidad de Talca: <http://ing.otalca.cl>

García O. (2006). Mantenimiento General. Administración de empresas. Editorial: Universidad Pedagógica y tecnología de Colombia.

Duffuaa, S. (2009). Sistemas de mantenimiento. Planeación y control. México: Editorial Limusa.

Mantenimiento industrial. Recuperado el 21 de febrero de 2012, del sitio web de la Universidad Carlos III de Madrid: <http://ocw.uc3m.es>

Método de Gantt. Recuperado del 7 de marzo de 2012, del sitio web de Gestipolis: <http://www.gestipolis.com>

Método de la ruta crítica. Recuperado del 7 de marzo de 2012 del sitio web de Investigación de operaciones: <http://www.investigaciondeoperaciones.net>

Mora, A. (2006). Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Enfoque sistemático kantiano. Envigado: Editorial AMG.

Orientación planes de mantenimiento. Recuperado el 20 de marzo de 2012, del sitio web de Renovatec: <http://www.renovetec.com>

Sistema PERT. Recuperado el 5 de marzo de 2012, del sitio web de ciencia y técnica administrativa: <http://www.cyta.com.ar>

Técnicas actuales del Mantenimiento Industrial. Recuperado el 21 de febrero de 2012, del sitio web de SINAIS, Ingeniería de Mantenimiento: <http://www.sinais.es/>