

**DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO APOYADO EN RCM PARA LAS
MAQUINAS DEL TALLER DE MAQUINAS HERRAMIENTAS CIENTO DOS DEL
BLOQUE CINCO DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO.**

SIMÓN PÉREZ OSPINA

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2013**

**DISEÑAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO APOYADO EN RCM PARA LAS
MAQUINAS DEL TALLER DE MAQUINAS HERRAMIENTAS CIENTO DOS DEL
BLOQUE CINCO DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO.**

SIMÓN PÉREZ OSPINA

Trabajo de grado

Asesor

Alfonso Luis Agudelo Vegliante

Ingeniero Metalúrgico

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TECNOLOGÍA MECÁNICA

MEDELLÍN

2013

RESUMEN

En el siguiente trabajo, se realizó el diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para las maquinas herramientas del bloque cinco de la institución universitaria Pascual Bravo, con fines de mejorar la confiabilidad de los equipos, evitar la utilización excesiva de las horas de mantenimiento, las recurrentes fallas, paros en los equipos y pérdida de tiempo de clases. En vista de no contar con historiales de mantenimiento, fue conveniente utilizar la metodología del Mantenimiento centrado en Confiabilidad, Rcm es una tendencia en el mundo de la gestión del mantenimiento asistido por computador es la evolución del mantenimiento basado en el estado del activo. Este tipo de mantenimiento incluye procesos de mantenimiento predictivo y preventivo, que pueden ser definidos tan solo dependiendo del estado del activo. Las condiciones físicas son monitoreadas de forma periódica en busca de atributos como vibraciones, partículas en los aceites, desgaste, entre otros.

Esto nos permite disponer de un historial de cada equipo, máquina o componente, tanto de características técnicas, como de averías, revisiones, sustituciones, fechas de las últimas incidencias o averías, personal, horas y materiales utilizados en la solución de los problemas.

La confiabilidad de los sistemas es un factor clave para que las empresas sean más competitivas, por esta razón las exigencias de confiabilidad y seguridad en relación a las máquinas herramienta. Con presente proyecto se enfoca en implementar tareas de análisis y planificación de mantenimiento que eviten los paros y garantice las horas de funcionamiento y producción de cada máquina herramienta para el beneficio de los estudiantes.

Palabras claves: averías, confiabilidad, metodología, disponibilidad, Rcm, mantenimiento.

ABSTRACT

In this work, we performed the design of a plan for reliability centered maintenance for machine tools block the university five Pascual Bravo, for the purpose of improving the reliability of equipment, avoid excessive use of maintenance hours , the recurring failures, equipment shutdowns and loss of class time. In view of not having maintenance records, was convenient to use the methodology of Reliability Centered Maintenance, Rcm is a trend in the world of assisted maintenance management is increasingly sophisticated computer-based maintenance of the active state. This type of maintenance includes processes predictive and preventive maintenance, which can be defined depending on the state only asset. The physical conditions are monitored on a regular basis looking for attributes such as vibrations, particles in oils, wear, among others.

This allows us to have a history of each equipment, machine or component, both technical, or faults, revisions, substitutions, dates of recent incidents or breakdowns, personnel, hours and materials used in the solution of problems.

The system reliability is a key factor for companies to be more competitive, therefore the reliability and safety requirements relating to machine tools. With this project focuses on implementing tasks of analysis and planning maintenance to prevent stoppages and ensure the operating hours of each machine tool production for the benefit of students.

Keywords: breakdown, reliability methodology, availability, Rcm, maintenance.

GLOSARIO

ANÁLISIS DE CRITICIDAD: es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis.

ABRASIVA: que desgasta o pule por fricción, especialmente una superficie

ADITAMENTO: cosa que se añade para completar algo, añadidura.

AHUSAMIENTO: objeto cónico con una disminución gradual en el diámetro desde un extremo al otro. En un diagrama de taller, un ahusamiento forma un triángulo rectángulo.

ALD: árbol lógico de decisiones.

AMEF: análisis de modos y efecto de fallas.

BACKLOG: cantidad de trabajo pendiente, acumulación de trabajo.

BARRENADO: operación de mandrinado de uno o más agujeros efectuada con el fin de garantizar su coaxialidad y la uniformidad de sus diámetros. Se emplea para acabar y alinear en el mismo eje los soportes de bancada de un motor.

CONFIABILIDAD: se define como la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado período de tiempo, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas.

ESCARIADO: mecanizado de un agujero con el fin de obtener un diámetro determinado. La operación puede efectuarse con una herramienta, llamada escariador, o con una máquina, denominada escariadora. El escariado es un trabajo de acabado que sólo puede extraer unas pocas décimas de milímetro, por lo cual el agujero ya debe estar preparado, de fundición o mediante torno, con un diámetro muy próximo al valor final.

LA SIERRA RECIPROCANTE: es una herramienta de uso múltiple para realizar cortes transversales de poca exactitud en muchas situaciones, especialmente cuando el corte con una sierra manual resulta difícil.

LAS FRESAS: son piezas giratorias para el mecanizado de materiales y constituyen las herramientas principales de las fresadoras. Se construyen generalmente en acero rápido, pero, dado el elevado costo de este material, las fresas de mayor tamaño poseen un cuerpo de acero de construcción y en la parte cortante tienen incorporadas cuchillas (o dientes) de acero rápido o bien insertos de corte (widia) que pueden ser permanentes o intercambiables.

MANTENIMIENTO: conjunto de operaciones preventivas, proactivas, predictivas y correctivas periódicas efectuadas para garantizar la operatividad de un equipo o un sistema.

MANUAL: documento que contiene políticas, normas, procedimientos, instructivos y/o nociones descriptivas para la ejecución de un proceso. Cada manual tiene un alcance específico debe ser de reacción libre, con presentación en forma de textos, graficas, tablas, figuras o diagramas de flujo.

MANUAL DE MANTENIMIENTO: documento donde figura la explicación detallada de las rutinas de mantenimiento.

MODO DE FALLA: evento que causa una falla funcional. Este puede clasificarse en tres grupos. Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado. Cuando el funcionamiento deseado se eleva más allá de la capacidad inicial y cuando desde el principio el activo físico no es capaz de hacer lo que se quiere.

PLAN DE MANTENIMIENTO: en el se define los elementos relevantes para generar automáticamente el mantenimiento preventivo para los equipos. En el plan de mantenimiento se enlazan las operaciones, la frecuencia con que se ejecuta, los insumos y recursos, que al momento de su ejecución se convierte en la orden de mantenimiento.

PONDERACIÓN: es el peso o la relevancia que tiene algo. También es la atención, consideración y cuidado con que se dice o hace algo.

RCM: mantenimiento centrado en la confiabilidad.

REFRENTADO: es la operación realizada en el torno mediante la cual se mecaniza el extremo de la pieza, en el plano perpendicular al eje de giro.

ROSCADO: el roscado consiste en la mecanización de la pieza en espirales (izquierda o derecha) de superficies exteriores (tornillo) o agujeros (tuerca) sobre una superficie circular. El roscado se puede realizar con herramientas de forma manual o se puede realizar en máquinas como tornos y taladros.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN	18
3. OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVO GENERAL	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4. REFERENTES TEÓRICOS	20
4.1 MAQUINAS HERRAMIENTAS	20
4.1.1 Taladro	20
4.1.2 Torno	21
4.1.3. Sierra	21
4.1.4. Fresadora	22
4.1.5. Esmeriladoras y rectificadoras	23
4.2 MANTENIMIENTO	25
4.2.1 Objetivos del Mantenimiento	25
4.2.2 Tipos de Mantenimiento	22
4.2.3 Sistema de Mantenimiento	31
4.2.4 Planificación y Programación del Mantenimiento	31
4.2.5 Tipos de Planes	32
4.3 Análisis de Criticidad	32
4.3.1 Metodología D.S. Para Determinar Criticidad	32
4.4 Generalidades del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	37
4.4.1 Importancia del RCM	37

4.4.2 Historia del RCM	37
4.4.3 Normas SAE JA 1011 y 1012	38
4.4.4 Las Siete Preguntas Básicas del RCM	39
4.4.5 El Grupo Natural de Trabajo (GNT)	40
4.4.6 Funciones y parámetros de funcionamiento	40
4.4.7 Fallas Funcionales	41
4.4.8 Modos de Falla	42
4.4.9 Efectos de las Fallas	42
4.4.10 Consecuencias de falla	43
4.4.11 Los beneficios a obtener por RCM	44
4.4.12 Como no aplicar el RCM	48
5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO	51
5.1 OBSERVACIÓN DIRECTA	52
5.2 ENTREVISTAS CON EL PERSONAL	52
5.3 LA DESCRIPCIÓN	52
5.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	52
5.5 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC).	53
5.6 DOCUMENTACIÓN	53
5.7 LA PREDICCIÓN.	54
5.8 MANEJO DE PROGRAMAS DE COMPUTACIÓN.	54
6. METODOLOGÍA	55
6.1 Revisión bibliográfica	55
6.2 Identificación, diagnóstico y recopilación de información del sistema, equipos y componentes a estudiar	55
6.3 Determinación de los componentes de los equipos relevantes del sistema	56
6.4 Aplicación de análisis de modos y efecto de fallas (amef)	57
6.5 Establecer árbol lógico de decisiones	57
6.6 Diseño del plan de mantenimiento	57
6.7 Sistema de recolección de información	58
7. RESULTADOS	59

7.1 Análisis de Modos de fallo asociados a la función	60
7.3 Determinación de la estrategia	66
8. CONCLUSIONES	72
9. RECOMENDACIONES	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

TABLA DE FOTOS

		Pág.
Foto 1	Taladro columna	18
Foto 2 y 3	Tornos paralelos	19
Foto 4	Sierra mecánica	20
Foto 5	Fresadora.	21
Foto 6 y 7	Esmeriladoras	22

TABLA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Evolución del mantenimiento	24
Figura 2 Tipos de Mantenimiento	28
Figura 3 Metodología D.S	31
Figura 4 Distribución de las Horas de Mantenimiento.	33
Figura 5 Valores para Clasificación de la Criticidad de los Activos para la Metodología DS.	34
Figura 6 Inventario de equipos	57
Figura 7 Modos de fallos	58
Figura 8 modos y efectos de fallas	62

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el área de mantenimiento, ha cambiado aceleradamente, principalmente en aspectos de tipo tecnológico, organizacional, documental y económico. Influyendo de forma directa sobre la gestión y sobrevivencia de cualquier empresa, puesto que actualmente es el encargado de asegurar la condición operativa de una instalación, tomando en cuenta factores importantes como: seguridad del personal y del medio ambiente, gasto generales y utilización de recursos disponibles.

En búsqueda de mejoras sobre la gestión de mantenimiento, se han creado técnicas, metodologías y filosofías, denominadas como Mantenimiento de Clase Mundial, las cuales se fundamentan en cubrir principalmente aspectos importantes y generar propuestas tanto para contextos generales como específicos. Entre las nuevas tendencias encontramos: El mantenimiento Centrado en confiabilidad, fue desarrollado en principio por la aviación comercial de Estados Unidos, en los años 1960 y 1970, en cooperación con entidades como la NASA y Boeing, posteriormente generando gran aceptación sobre sectores de generación de energía, petroquímicos, gasíferos, refinación, industria manufacturera, entre otros. El RCM se basa en determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente, tratando de minimizar o mitigar las consecuencias negativas que puedan generarse sobre la producción, costos y seguridad.

Partiendo de lo anterior, el tecnológico pascual bravo institución universitaria, con actitudes proactivas, encargada consistió en diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para las maquinas herramientas del bloque cinco de la institución. La metodología del RCM fue elegida para este trabajo por no

encontrarse disponible historiales ni registros confiables, siendo esta técnica la más recomendable.

Incluido a lo anteriormente descrito, el interés del trabajo radica en que el sistema actualmente presenta una carencia que influyen adversamente sobre la gestión de manteniendo, y esto genera incremento de las paradas no programadas, desgaste de los equipos por vejes, igualmente la importancia que representa para lograr normal producción universitaria.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mantenimiento implementado presenta algunas fallas debido a que no se cuenta con una política actualizada en la institución, debido a esto se ven afectados los estudiantes ya que con el mantenimiento correctivo se generan paros imprevistos en los equipos.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la institución universitaria Pascual Bravo adscrito a la alcaldía de Medellín; se ha distinguido a lo largo de sus 73 años de existencia por ser una institución en la cual la ciencia y la tecnología se han fundamentado en cada uno de las áreas de conocimiento que ofrece.

Sin embargo no se cuenta con un plan de mantenimiento bien fundamentado, debido a esto nace la necesidad de utilizar una filosofía de mantenimiento que genere un mayor grado de seguridad personal, ambiental, y mantener la utilidad de las máquinas, ya que el RCM permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico.

En la actualidad se busca realizar mejoras en el taller de máquinas herramientas. Los aspectos que priman para tomar la decisión de elaborar este diseño de RCM es primordialmente con fines educativos, disciplinarios, de seguridad y de control de los movimientos que se ven efectuados.

1.2 FORMULACION DEL PROYECTO

¿Cómo sería de útil la implementación de este plan de mantenimiento en RCM para el taller de máquinas y herramientas del Institución universitaria Pascual Bravo?

2. JUSTIFICACIÓN

Es importante para la institución implementar una filosofía de mantenimiento debido a las fallas, la transformación y necesidad de brindar servicio de los activos físicos de los talleres de máquinas herramientas. Con la aplicación del RCM es posible lograr una conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas de los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente y también se logra un acotamiento notable de costos. Este trabajo de investigación comprende la elaboración de un plan de mantenimiento basado en la filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, el cual estará estructurado de la siguiente forma: diagnóstico de los equipos del sistema, jerarquización de los componentes de los equipos utilizando el análisis de criticidad, análisis de modos y efectos de fallas a los componentes críticos, aplicar el árbol lógico de decisiones para determinar el tipo de mantenimiento a aplicar para cada modo de falla, luego establecer la frecuencia inicial y asentárselas en la hoja de decisión. Es importante acotar que la filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, fue seleccionada para realizar este plan de mantenimiento, debido a que en la institución no se dispone de histórico de fallas y la carencia de este se han visto fallas en la formación académica que debe ser brindada a los estudiantes del área mecánica.

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para las maquinas herramienta del bloque cinco de la institución universitaria pascual bravo, Medellín.

3.2 ESPECÍFICOS

- Diagnosticar la situación actual de los equipos pertenecientes al taller de máquinas herramientas del bloque cinco.
- Identificar los componentes de los equipos que acarrear mayor relevancia en las máquinas, aplicando un análisis de criticidad.
- Realizar un análisis de modos y efectos de falla (AMEF) a los componentes críticos de las maquinas herramienta.
- Determinar tareas y frecuencias de mantenimiento a los componentes críticos de los equipos del sistema.
- Elaborar un plan de mantenimiento que genere mejoras en la gestión de mantenimiento.

4. REFERENTES TEÓRICOS

4.1 MAQUINAS HERRAMIENTAS

4.1.1 Taladro

El taladro vertical probablemente el primer mecánico desarrollado en la prehistoria se utiliza principalmente para producir perforaciones redondas. Los taladros van desde el tipo simple manual hasta las más complejas máquinas automáticas y de control numérico utilizadas para fines de alta producción. La función de un taladro es sujetar y hacer girar la herramienta de corte (generalmente una broca en espiral) de forma que pueda hacer una perforación en una pieza de metal u otro material. Operación como el taladrado, escariado, refrentado, avellanado, escariado y machuelado comúnmente se llevan a cabo con un taladro.

Foto 1. Taladro columna.



4.1.2 Torno

El torno se utiliza para producir piezas redondas la pieza de trabajo sostenida por un dispositivo de sujeción montado en el eje del torno, se hace girar como la herramienta de corte, lo que produce una forma cilíndrica. El torneado cilíndrico, el ahusamiento, el careado, el torneado interior, el barrenado, el escariado y la generación de roscas son algunas de las operaciones más comunes llevadas a cabo en un torno.¹

Foto 2. Y 3 Tornos paralelos.



4.1.3 Sierra

Las sierras para corte de metal se utilizan para cortar metal a la longitud y forma apropiadas. Existen dos clases principales de sierras para corte de metal: la sierra cinta (horizontal y vertical) y la sierra de corte recíprocante. En la sierra cinta vertical la pieza de trabajo se sostiene sobre la mesa y se lleva en contacto con la hoja de sierra de corte continuo. Se puede utilizar para cortar piezas de trabajo a

• ¹ KRAR Steve, SMID Peter, GILL Arthur TECNOLOGIA DE LAS MAQUINAS Y HERRAMIENTA.

la longitud y forma deseada. La sierra cinta horizontal y la sierra reciprocante se utilizan para cortar piezas solo a longitud. El material se sujeta en una prensa y se pone a la hoja de la sierra en contacto con el trabajo.

Foto 4. Sierra mecánica.



4.1.4. Fresadora

La máquina fresadora horizontal y la fresadora vertical son dos de las herramientas más útiles y versátiles. Ambas maquinas utilizan una o más fresas (cortadores giratorios) que tienen uno o varios filos cortantes. La pieza de trabajo, que debe de quedar sujeta en una prensa de tornillo, o con aditamento o accesorio para fijar a la mesa, es avanzada o alimentada hacia la herramienta de corte giratorio. Equipadas con los accesorios apropiados, las máquinas de fresado son capaces de llevar a cabo una gran variedad de operaciones como taladrado, escariado, barrenado, contrataladrado, y careado para tuerca, y sirven para

producir superficies planas y de contorno, ranuras, dientes de engrane y formas helicoidales.²

Foto 5. Fresadora.



4.1.4 Esmeriladoras y rectificadoras

Estas máquinas utilizan una herramienta de corte abrasivo para trabajar a la pieza de tamaño preciso y producir un buen acabado superficial. El proceso de rectificado, la superficie de la pieza de trabajo se pone en contacto con la rueda abrasiva giratoria. La rectificadores más comunes son las de superficies, las cilíndricas, las de corte y para afilar herramientas y los esmeriles de banco o pedestal.

Las rectificadoras de superficie se utilizan para producir superficies planas, angulares o de contorno en una pieza.

• ² KRAR Steve, SMID Peter, GILL Arthur TECNOLOGIA DE LAS MAQUINAS Y HERRAMIENTA.

Los rectificadores cilíndricos se usan para producir diámetros internos y externos, en trabajos que pueden ser rectos, ahusados o cónicos, o con un perfil.

Los esmeriles de corte y para herramientas se utilizan generalmente para afilar herramientas de corte de máquinas fresadoras.

Los esmeriles de banco o pedestal se emplean para el esmerilado manual y para afilar herramientas de corte como cinceles, punzones, brocas y herramientas para torno y cepilladora.³

Foto 6 y 7. Esmeriladoras



-
- ³ KRAR Steve, SMID Peter, GILL Arthur TECNOLOGIA DE LAS MAQUINAS Y HERRAMIENTA.

4.2 MANTENIMIENTO.

Conjunto de actividades que permiten mantener un equipo, sistema o instalación en condición operativa, de tal forma que cumpla las funciones para las cuales fueron diseñados y asignados o restablecer dicha condición cuando esta se pierde.

4.2.1 Objetivos del Mantenimiento.

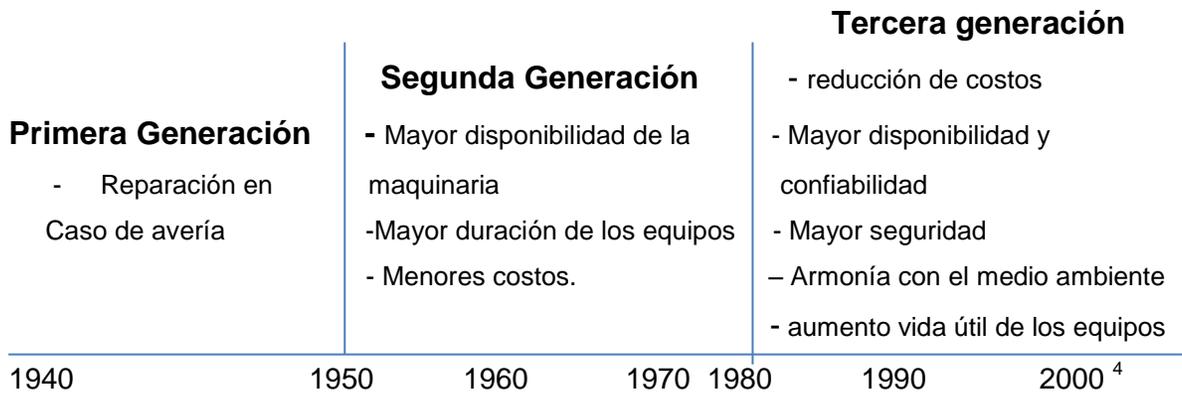
Mejorar continuamente los equipos hasta su más alto nivel operativo, mediante el incremento de la disponibilidad, efectividad y confiabilidad.

- Aprovechar al máximo los componentes de los equipos, para disminuir los costos de mantenimiento.
- Garantizar el buen funcionamiento de los equipos, para aumentar la producción.
- Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente.
- Maximizar el beneficio global.

4.2.2 Tipos de Mantenimiento

Existen diferentes formas de diferenciar los tipos de mantenimientos, sin embargo la generalmente utilizada, parte del mantenimiento preventivo y correctivo

Figura 1. Evolución del mantenimiento



- **Mantenimiento preventivo.** Es una actividad planificada en cuanto a inspección, detección y prevención de fallas, cuyo objetivo es mantener el equipo bajo condiciones específicas de operación. Se ejecuta a frecuencias dinámicas, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, las condiciones operacionales y la historia de fallas de los equipos. Las ventajas que proporciona este tipo de mantenimiento son las siguientes:

Disminución de los paros imprevistos y no deseados, Menor número de reparaciones repetitivas que pudieran resultar en daños y costos excesivos. Mayor conservación y seguridad de los equipos y personal.

Intervenciones de manera organizada, ubicación de repuesto y con el personal calificado, y así tener control de materiales, herramientas, repuestos y personal. Menor número de los productos rechazados, por tanto mayor control de calidad.

⁴ PÉREZ, C. Soporte y Cía. Ltda. EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO, edición 2003.

- **Tipos de Mantenimiento Preventivo.**

Mantenimiento Sistemático. Son actividades establecidas en función del uso del equipo (horas, kilómetros, etc.).

Mantenimiento de Ronda. Es aquel donde se dan instrucciones para atender al equipo en forma muy frecuente y estable; se basa en el concepto de que mientras mejor atendida este la máquina, genera menor cantidad de problemas.

Mantenimiento Condicional. Son actividades basadas en el seguimiento del equipo mediante el diagnóstico de sus condiciones.

- **Mantenimiento Predictivo.** Consiste en el monitoreo de condiciones y análisis del comportamiento de los equipos para determinar intervenciones, según los niveles de admisibilidad. Es un mantenimiento planificado y programado que se fundamenta en el análisis técnico, programas de inspección y reparación de equipos, el cual se adelanta al suceso de las fallas, es decir, es un mantenimiento que detecta las fallas potenciales con el sistema en funcionamiento. Con los avances tecnológicos se hace más fácil detectar las fallas, ya que se cuenta con sistemas de vibraciones mecánicas, análisis de aceite, análisis de termografía infrarrojo, análisis de ultrasonido, monitoreo de condición, entre otras.

- **Mantenimiento Proactivo.** Es aquel que engloba un conjunto de tareas de mantenimiento preventivo y predictivo que tienen por objeto lograr que los activos cumplan con las funciones requeridas dentro del contexto operacional donde se ubican, disminuir las acciones de mantenimiento correctivo, alargar sus ciclos de funcionamiento, obtener mejoras operacionales y aumentar la eficiencia de los procesos.

- **Mantenimiento Correctivo.** Es una actividad no programada y se dirige a reparaciones por fallas ocurridas. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en llevar los equipos después de una falla a sus condiciones operativas, por medio de restauración, reemplazo de componentes o partes de equipos, debido a desgaste, daños o roturas.

- **Mantenimiento Productivo Total TPM (Total Productive Maintenance).** **El TPM.** es un moderno sistema gerencial de desarrollo de la industria que permite tener equipos de producción siempre listos. Su metodología, soportada en un buen número de técnicas de gestión, establece estrategias adecuadas para el aumento continuo de la productividad, con miras a afrontar con éxito y competitividad el proceso de Globalización y apertura de la economía.

- **MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)**

“Proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”

El RCM permite determinar la forma más efectiva de manejar el mantenimiento. Su objetivo central es el aumento de la Confiabilidad con el costo más efectivo posible. Costo efectivo no significa el menor costo: es el menor costo necesario para alcanzar la confiabilidad deseada y podría ser mayor que el que se tenía al principio.

Tomando un enfoque de ingeniería, el manejo de activos físicos se basa en dos acciones: debe ser mantenido y periódicamente quizás necesite ser modificado. Mantener, en general, significa preservar algo.

El RCM reconoce que las consecuencias de falla son más importantes que sus características técnicas y que la única razón para realizar cualquier tipo de

mantenimiento proactivo no es el evitar las fallas sino el minimizar o evitar las consecuencias de la falla. Se clasifican a las consecuencias de falla en:

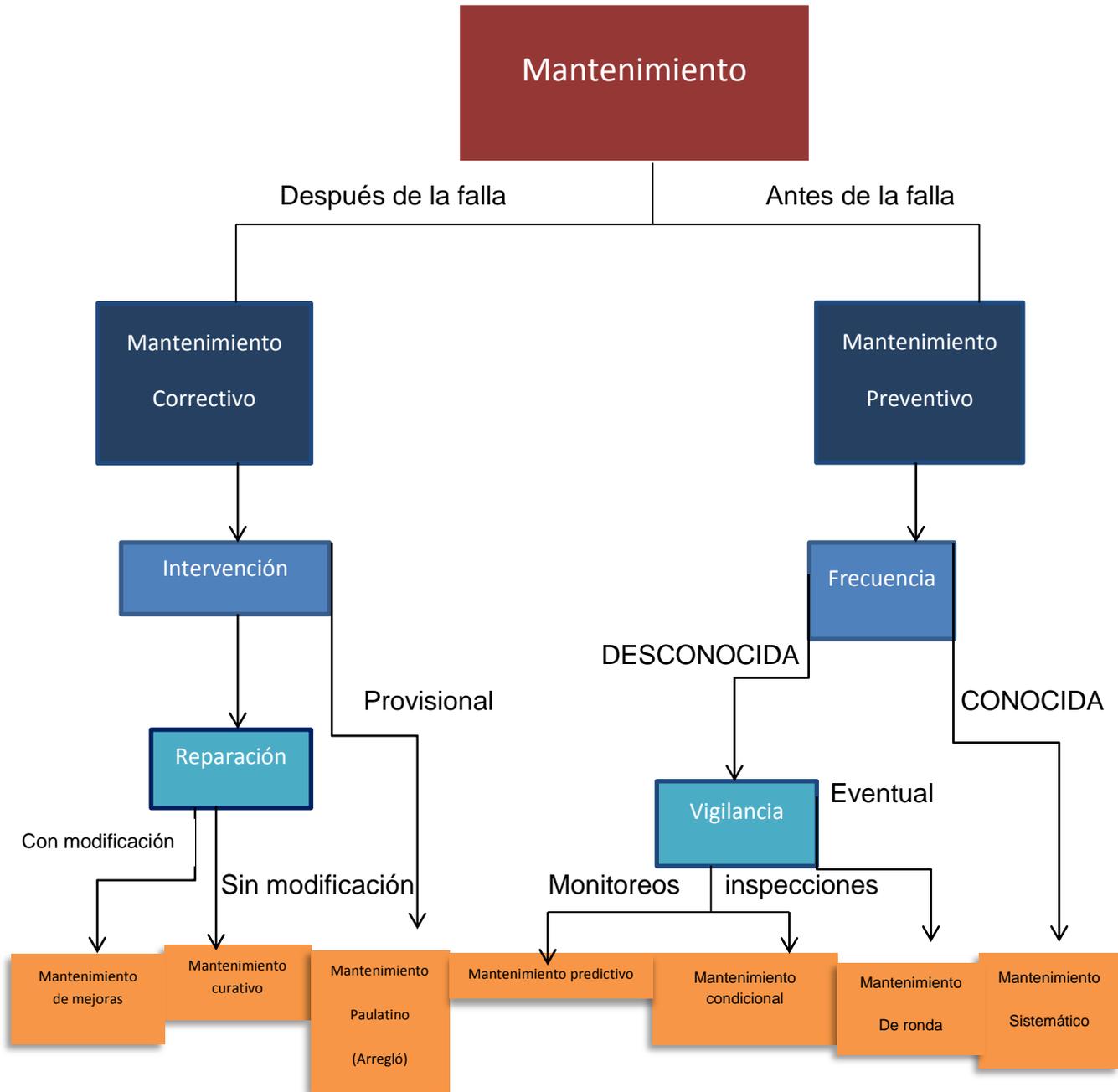
Consecuencias de fallas ocultas: exponen fallas múltiples con consecuencias serias o catastróficas. Se asocian a sistemas de protección si seguridad inherente

Consecuencias ambientales y para la seguridad: se considera una consecuencia para la seguridad si afecta a la integridad física de las personas. Se tienen consecuencias ambientales, si se infringe alguna regulación o estatuto medioambiental.

Consecuencias Operacionales: si afecta a la producción

Consecuencias No-Operacionales: sólo infringen al costo directo de reparación. No tienen impacto ni en la producción ni en la seguridad o medioambiente.

Figura 2. Tipos de Mantenimiento.



5

⁵ Fuente: Ing. Diógenes Suárez “Guía Teórico-Práctico Mantenimiento Mecánico” (2001).

4.2.3 Sistema de Mantenimiento.

Un sistema es un conjunto de componentes que trabajan de manera combinada hacia un objetivo común. El mantenimiento puede ser considerado como un sistema con un conjunto de actividades que se realizan en paralelo con los sistemas de producción.

Los sistemas de mantenimiento también contribuyen en el logro de las metas al incrementar las utilidades y la satisfacción del cliente. Estas se logran reduciendo el mínimo el tiempo muerto de la planta, mejorando la utilidad, incrementando la productividad y entregando oportunamente los pedidos a los clientes. El Objetivo del mantenimiento es asegurar la competitividad de la empresa por medio de:

- Garantía de la disponibilidad y confiabilidad planeada.
- Satisfacción de todos los requisitos de calidad.
- Maximizar el beneficio global.
- Adecuada disponibilidad de equipos e instalaciones al costo más conveniente.

4.2.4 Planificación y Programación del Mantenimiento

Es el diseño de programas de actividades de mantenimiento, distribuidas en el tiempo, donde la frecuencia puede ser conocida o desconocidas, los recursos asignados dependiendo de la situación actual y contexto de los equipos y permite mantener los equipos en operación para cumplir con las metas de producción preestablecidas por la organización.

El inicio de mantenimiento es la planificación, donde se prepara la ejecución de los trabajos, consiguiendo la participación de todos los recursos y resolviendo todos los problemas que puedan afectar su eficiente ejecución

4.2.5 Tipos de Planes.

El proceso de planificación puede dividirse en tres niveles básicos, dependiendo de horizonte de la planificación. Los cuales son:

- Planes a largo plazo (cubre un periodo de hasta de 5 años).
- Planes a mediano plazo (cubre un período de hasta de un año).
- Planes a corto plazo (corresponde a los planes semanales y diarios).

4.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD.

El análisis de criticidad permite establecer niveles jerárquicos en procesos, sistemas, equipos y componentes en función del impacto global que se generan, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones. También es el análisis de confiabilidad que establece un orden de prioridades de mantenimiento sobre una serie de instalaciones y equipos, otorgándole un valor numérico o estatus, en función de ciertos factores a tomar en cuenta.

El análisis se orienta a través de tormenta de ideas en una reunión de trabajo con un grupo multidisciplinario conformado por la línea supervisora y trabajadores de operaciones y mantenimiento, ingeniería de procesos o infraestructura y analista de mantenimiento, con la finalidad de unificar criterios y validar la información.

Clasificación de los Equipos según su Criticidad.

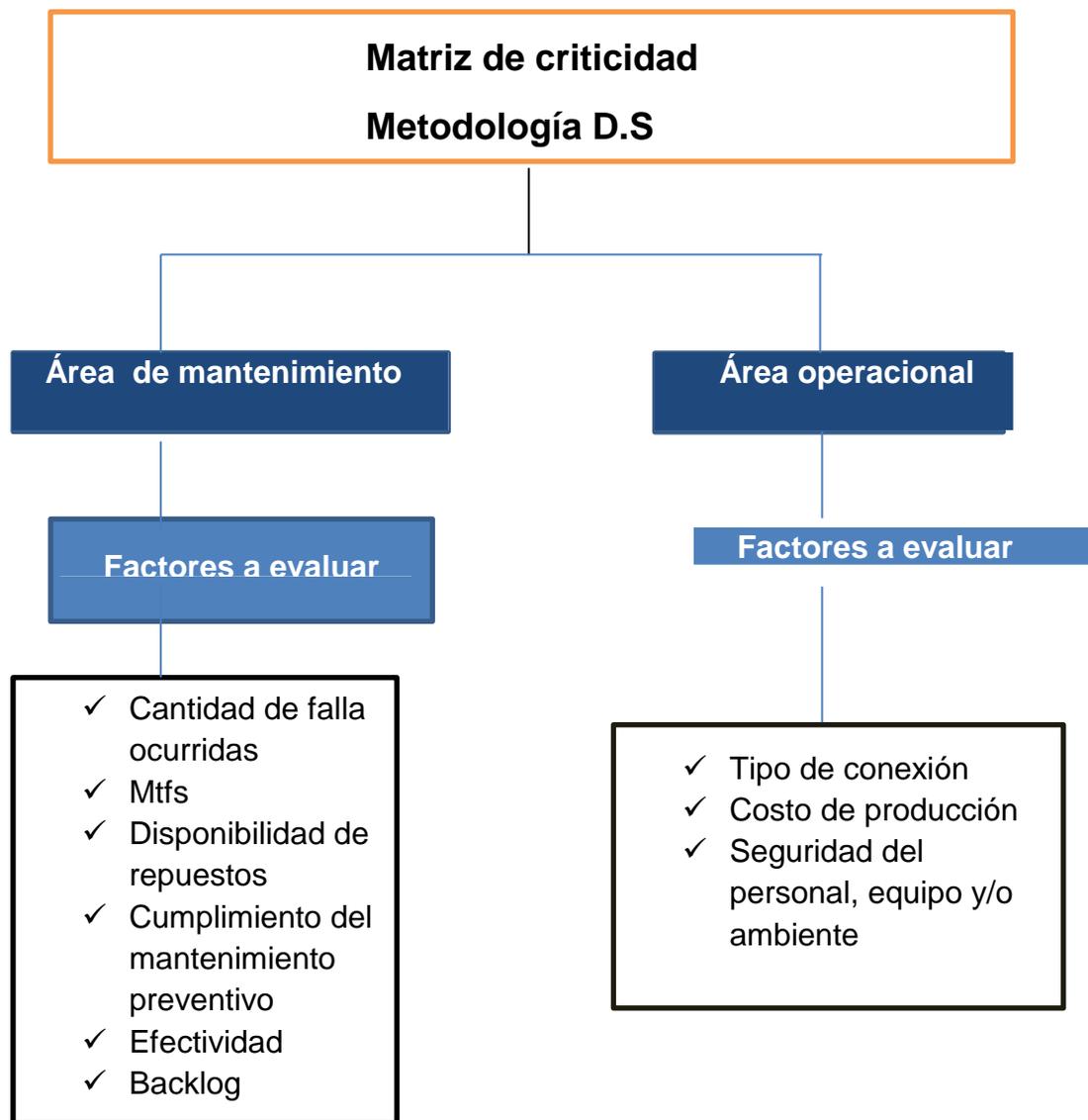
Los equipos se clasifican de acuerdo a su criticidad en Categorías:

- No crítico.
- Semi-crítico.
- Crítico.

4.3.1 Metodología D.S. Para Determinar Criticidad.

Es un método diseñado por el Ing. Msc. Diógenes Suárez, el cual se encarga de determinar la criticidad de equipos o componentes, basado en estudiar por separado factores del área de mantenimiento y el de operación, con fin de ponderarlos y determinar la criticidad.

Figura 8. Metodología D.S



La criticidad a determinar por este método, depende de los siguientes factores:

- En el área de mantenimiento:

Cantidad de fallas ocurridas.

Este parámetro es la cantidad o número de veces que el activo falla en el tiempo de estudio.

MTFS.

El tiempo medio fuera de servicio, es el promedio del tiempo que el activo esta indisponible o fuera de servicio, durante el tiempo de estudio.

$$MFTS = \frac{\sum_{i=1}^N TFS}{N} = \frac{TFS_1 + TFS_2 + TFS_3}{3} \quad \text{Ec. 1}$$

Disponibilidad de Repuestos.

Es el porcentaje de componentes nuevos adquiridos con respecto a la cantidad de repuestos pedidos o necesarios para mantenimiento.

$$DR = \frac{\text{cantidad satisfecha}}{\text{cantidad demandada}} \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

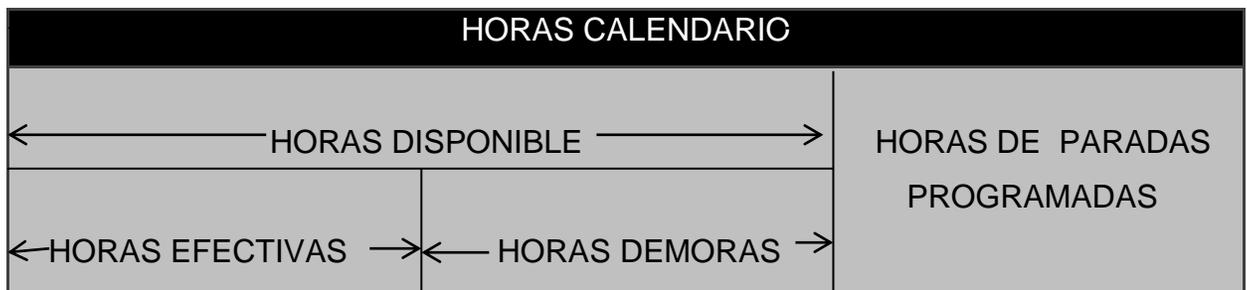
Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo.

Es el porcentaje en que se ejecutan las órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo.

$$CMP = \frac{ODT \text{ Ejecutadas}}{ODT \text{ Emitidas}} \times 100 \quad \text{ec.3}$$

Efectividad. Es el porcentaje del tiempo en que el activo está realmente en operatividad con respecto al tiempo programado para estar operativo.

Figura 4. Distribución de las Horas de Mantenimiento.



$$EFECTIVIDAD = \frac{HORAS \text{ EFECTIVAS}}{HORAS \text{ DISPONIBLES}} \times 100 \quad \text{ec. 4}$$

Backlog. Indica la cantidad de trabajo pendiente por realizar en un periodo determinado en función de las horas disponibles. Se recomienda evaluar este indicador semanalmente.

i

$$\text{Backlog} = \frac{H - H \text{ de las ordenes de trabajo pendientes por ejecucion}}{H - H \text{ Disponibles por semana}} \quad \text{ec. 5}$$

- **En el área de operaciones:**

Tipo de Conexión. Este factor evalúa como está conectado el activo operacionalmente, ya sea en serie, paralelo o combinación.

Costo de Producción en el Periodo a Evaluar. Este indicador resulta de la comparación de los costos que trae como consecuencia la falla del activo, con los costos que se propone como meta la organización.

Seguridad del Personal, Equipos y/o Ambiente. Es la evaluación de las consecuencias por falla del activo sobre la seguridad de las personas, los equipos y el medio ambiente.

Para el cálculo de la criticidad, se deben tener los valores del área de mantenimiento y el área de operaciones, para luego ingresarlos a la fórmula 6, mostrada a continuación:

$$\text{criticidad} = (0.027 \times \text{puntos mantto} + 0.055 \times \text{puntos oper}) \times 100 \quad \text{ec. 6}$$

Figura 5. Valores para Clasificación de la Criticidad de los Activos para la Metodología DS.

CRITICIDAD	
No Critico	(33 ≤ ponderación total ≤ 50 %)
Semi-critico	(50 ≤ ponderación total ≤ 70 %)
Critico	(ponderación total ≥ 70 %)

4.4 GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM).

4.4.1 Importancia del RCM

RCM (Reliability Centred Maintenance) es un proceso usado para determinar sistemática y científicamente qué se debe hacer para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios desean que hagan. Ampliamente reconocido por los profesionales de mantenimiento como la forma más “costo-eficaz” de desarrollar estrategias de mantenimiento de clase mundial, RCM lleva a mejoras rápidas, sostenidas y sustanciales en la disponibilidad y confiabilidad de planta, calidad de producto, seguridad e integridad ambiental.

El RCM pone énfasis tanto en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante:

- Integración: de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
- Atención: en las tareas del mantenimiento que mayor incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantizando que la inversión en mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a reportar.

4.4.2 Historia del RCM

En la actualidad es muy aceptado que la aviación comercial resulta ser la forma más segura para viajar. Al presente, las aerolíneas comerciales sufren menos de

dos accidentes por millón de despegues. Sin embargo al final de los 1950s, la aviación comercial mundial estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues. Si en la actualidad se estuviera presentando la misma tasa de accidentes, se estarían oyendo sobre dos accidentes aéreos diariamente en algún sitio del mundo (involucrando aviones de 100 pasajeros o más). Dos tercios de los accidentes ocurridos al final de los 1950s eran causados por fallas en los equipos. Esta alta tasa de accidentalidad, conectada con el auge de los viajes aéreos, significaba que la industria tenía que empezar a hacer algo para mejorar la seguridad. El hecho de que una tasa tan alta de accidentes fuera causada por fallas en los equipos significaba que, al menos inicialmente, el principal enfoque tenía que hacerse en la seguridad de los equipos.⁶

El RCM es uno de los procesos de mantenimiento desarrollados durante los 1960s y 1970s, en varias industrias con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las mejores políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y para manejar las consecuencias de sus fallas. De estos procesos, el RCM es el más directo.

4.4.3 Normas SAE JA 1011 y 1012.

En lo referente a la Norma SAE JA 1011, se dice que esta no presenta un proceso RCM estándar. Su título es: "Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad". Este estándar muestra criterios con los cuales se puede comparar un proceso. Si el proceso satisface dichos criterios, se lo considera un "proceso RCM", caso contrario no lo es. (Esto no significa necesariamente que los procesos que no cumplan con el estándar SAE RCM no resulten válidos para la formulación de estrategias de mantenimiento. Sólo quiere decir que no se le debe aplicar el término RCM a los mismos.)

⁶ PÉREZ, C. Soporte y Cía. Ltda. EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO, edición 2003.

Por su parte, en la norma SAE JA 1012, se establece que es una guía para la norma del RCM, pero no intenta ser un manual ni una guía de procedimientos para realizar el RCM. Aquellos que desean aplicar RCM están seriamente invitados a estudiar la materia en mayor detalle, y a desarrollar sus competencias bajo la guía de Profesionales RCM experimentados.

4.4.4 Las siete preguntas básicas del RCM:

El proceso sistemático del RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

4.4.5 El Grupo Natural de Trabajo (GNT)

En la práctica el personal de mantenimiento no puede contestar a las siete preguntas por sí solos. Esto es porque muchas de las respuestas sólo pueden proporcionarlas el personal operativo o el de producción.

Por esta razón la revisión de los requerimientos del mantenimiento de cualquier equipo debería de hacerse por equipos de trabajo reducidos que incluyan al menos una persona de mantenimiento y otra de la función de producción. La antigüedad de los miembros del grupo es menos importante que el hecho de que deben de tener un amplio conocimiento de los equipos que se están estudiando. Cada miembro del grupo deberá también haber sido entrenado en RCM. El uso de estos grupos no sólo permite que los directivos obtengan acceso de forma sistemática al conocimiento y experiencia de cada miembro del grupo, sino que además reparte de forma extraordinaria los problemas del mantenimiento y sus soluciones.

4.4.6 Funciones y parámetros de funcionamiento.

Cada elemento que conforma los sistemas de los equipos debe de haberse adquirido para uno o varios propósitos determinados. En otras palabras, deberá tener una función o funciones específicas. La pérdida total o RCM FACILITADOR.

Servicios Técnicos Técnico Eléctrico, Técnico Mecánico Adm. Equipo Operadores parcial de estas funciones afecta a la organización en cierta manera. La influencia total sobre la organización depende de:

- La función de los equipos en su contexto operacional, o sea la prioridad del equipo dentro del sistema productivo.

- El comportamiento funcional de los equipos en ese contexto. Las funciones del equipo se dividen pueden en:
- Funciones primarias: Estas resumen el porqué de la adquisición del activo.
- Funciones secundarias: la cual reconoce que se espera de cada activo que haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias. Una vez que se establece el funcionamiento deseado de cada elemento, el RCM pone un gran énfasis en la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento siempre que sea posible. Estos estándares se extienden a la producción, calidad del producto, servicio al cliente, problemas del medio ambiente, costo operacional y seguridad. Esto remarca la importancia de identificar precisamente qué es lo que los usuarios quieren cuando comienza a desarrollarse un programa de mantenimiento.

4.4.7 Fallas Funcionales.

El paso siguiente es identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones, lo que es conocido comúnmente como falla funcional, la cual ocurre cuando un activo no puede cumplir una función de acuerdo a al parámetro de funcionamiento que el usuario considero aceptable.

Cuando se presenta una falla funcional el Objeto RCM deja de hacer lo que sus usuarios quieren que haga. Estas fallas sólo pueden ser identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo.

Se deben de definir fallas funcionales por cada función. Una función puede tener varias fallas funcionales, las cuales se deben registrar.

4.4.8 Modos de Falla.

El próximo paso es tratar de identificar todos los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla. Esto permite comprender exactamente qué es lo que puede que se esté tratando de prevenir.

Al realizar este paso, es importante identificar cuál es la causa origen de cada falla. Esto asegura que no se malgaste el tiempo y el esfuerzo tratando los síntomas en lugar de las causas. Resulta importante identificar la causa de cada falla con suficiente detalle para asegurarse de no desperdiciar tiempo y esfuerzo intentando tratar síntomas en lugar de causas reales.

Un modo de falla origina una falla funcional y la función del Objeto RCM se afecta negativamente. Se definen modos de falla por cada falla funcional y cada una de estas puede tener varios modos de falla.

La descripción de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo y debe de ser descrito de manera específica y concisa. Se debe de evitar el uso de expresiones como falla, rotura o mal funcionamiento.

4.4.9 Efectos de las Fallas.

El siguiente paso del proceso de RCM, enfatiza enlistar los efectos de cada falla, que describan lo que ocurre con cada modo de falla. Concretamente, al describir los efectos de una falla, debe hacerse constar lo siguiente:

- Qué evidencia existe (si la hay) de que se ha producido una falla.
- De qué modo (si las hay) la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- De qué manera (si las hay) afecta a la producción o a las operaciones.

- Los daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla.

El proceso de contestar sólo a las cuatro primeras preguntas produce oportunidades sorprendentes y a menudo muy importantes de mejorar el funcionamiento y la seguridad, y también de eliminar errores. También mejora enormemente los niveles generales de comprensión acerca del funcionamiento de los equipos

4.4.10 Consecuencias de falla.

RCM clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos:

Consecuencias Operacionales: una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuanto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.

Consecuencias no operacionales: las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación.

Consecuencias de las fallas no evidentes: las fallas que no son evidentes no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas. Un punto fuerte del RCM es la forma en que trata los fallas que no son evidentes, primero reconociéndolos como tales, en segundo lugar otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente en relación con su mantenimiento.

Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. RCM considera las repercusiones que cada falla tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento. Pone a las personas por encima de la problemática de la producción.

Si una falla tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de estas categorías, es importante tratar de prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático que no sea el de las rutinas básicas de lubricación y servicio. Por eso en este punto del proceso del RCM, es necesario preguntar si cada falla tiene consecuencias significativas. Si no es así, la decisión normal a falta de ellas es un mantenimiento que no sea sistemático. Si por el contrario fuera así, el paso siguiente sería preguntar qué tareas sistemáticas (si las hubiera) se deben de realizar. Sin embargo, el proceso de selección de la tarea no puede ser revisado significativamente sin considerar primero el modo de falla y su efecto sobre la selección de los diferentes métodos de prevención.

4.4.11 Los beneficios a obtener por RCM.

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

A. Mayor seguridad y protección del entorno, debido a:

- Mejoramiento en el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes.
- La disposición de nuevos dispositivos de seguridad.
- La revisión sistemática de las consecuencias de cada falla antes de considerar la cuestión operacional.
- Claras estrategias para prevenir los modos de falla que puedan afectar a la seguridad, y para las acciones “a falta de” que deban tomarse si no se pueden encontrar tareas sistemáticas apropiadas.
- Menos fallas causados por un mantenimiento innecesario.

B. Mejores rendimientos operativos, a consecuencia de:

- Un mayor énfasis en los requisitos del mantenimiento de elementos y componentes críticos.
- Un diagnóstico más rápido de las fallas mediante la referencia a los modos de falla relacionados con la función y a los análisis de sus efectos.
- Menor daño secundario a continuación de las fallas de poca importancia (como resultado de una revisión extensa de los efectos de las fallas).
- Intervalos más largos entre las revisiones, y en algunos casos la eliminación completa de ellas.
- Listas de trabajos de interrupción más cortas, que llevan a paradas más cortas, más fácil de solucionar y menos costosas.
- Menos problemas de “desgaste de inicio” después de las interrupciones debido a que se eliminan las revisiones innecesarias.
- La eliminación de elementos superfluos y como consecuencia los fallas inherentes a ellos.
- La eliminación de componentes poco fiables.

- Un conocimiento sistemático acerca de la nueva planta.

C. Mayor Control de los costos del mantenimiento, debido a:

- Menor mantenimiento rutinario innecesario.
- Mejor compra de los servicios de mantenimiento (motivada por el énfasis sobre las consecuencias de las fallas)
- La prevención o eliminación de las fallas costosas.
- Unas políticas de funcionamiento más claras, especialmente en cuanto a los equipos de reserva
- Menor necesidad de usar personal experto caro porque todo el personal tiene mejor conocimiento de las plantas
- Pautas más claras para la adquisición de nueva tecnología de mantenimiento, tal como equipos de monitorización de la condición
- Además de la mayoría de la lista de puntos que se dan más arriba bajo el título de “Mejores rendimientos operativos”.

D. Más larga vida útil de los equipos, debido al aumento del uso de las técnicas de mantenimiento “a condición”.

E. Una amplia base de datos de mantenimiento, que:

- Reduce los efectos de la rotación del personal con la pérdida consiguiente de su experiencia y competencia.
- Provee un conocimiento general de la planta más profundo en su contexto operacional.
- Provee una base valiosa para la introducción de sistemas expertos de mantenimiento.
- Conduce a la realización de planos y manuales más exactos.

- Hace posible la adaptación a circunstancias cambiantes (tales como nuevos horarios de turno o una nueva tecnología) sin tener que volver a considerar desde el principio todas las políticas y programas de mantenimiento.

F. Mayor motivación de las personas. Se da una mayor motivación del personal, especialmente el personal que está interviniendo en el proceso de revisión. Esto lleva a un conocimiento general de la planta en su contexto operacional mucho mejor, junto con un “compartir” más amplio de los problemas del mantenimiento y de sus soluciones. También significa que las soluciones tienen mayores probabilidades de éxito.

G. Mejor trabajo de grupo. Esto se obtiene motivado por un planteamiento altamente estructurado del grupo a los análisis de los problemas del mantenimiento y a la toma de decisiones. Esto mejora la comunicación y la cooperación entre:

- Las áreas: producción u operación así como los de la función del mantenimiento.
- Personal de diferentes niveles: los gerentes los jefes de departamentos, técnicos y operarios.
- Especialistas internos y externos: los diseñadores de la maquinaria, vendedores, usuarios y el personal encargado del mantenimiento.

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

Todos estos factores forman parte de la evolución de la gestión del mantenimiento, y muchos ya son la meta de los programas de mejora.

Lo importante del RCM es que provee un marco de trabajo paso a paso efectivo para realizarlos todos a la vez y para hacer participar a todo el que tenga algo que ver con los equipos de los procesos.⁷

4.4.12 Como no aplicar el RCM.

Si se aplica correctamente, RCM obtiene resultados muy rápidamente. Sin embargo, no toda aplicación de RCM rinde a su máximo potencial. Algunas logran poco o nada. Esto puede darse por razones de naturaleza técnica, pero la mayoría son de organización. A continuación se muestran las más comunes.

- Realizar el análisis a nivel muy bajo. Se presenta el problema de que al hacerlo así, el análisis demora más de lo que debiera, genera un importante aumento del papeleo y deteriora la calidad de las decisiones.
- Una aplicación demasiado apurada o muy superficial. Generalmente esto es el resultado de entrenamiento insuficiente, o de demasiada presión sobre los participantes clave.
- Demasiado énfasis en los datos de fallas. Datos como el MTTF y el MTRH son casi siempre sobre enfatizados a costa de la apropiada definición y cuantificación de los estándares de funcionamiento, de la evaluación completa de las consecuencias de fallas y del uso correcto de datos.
- Pedirle a una sola persona que aplique el proceso. No importa cuánto esfuerzo aplique una sola persona al desarrollar un programa de

7

- MOUBRAY John, MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD, edición en español 2004.

mantenimiento los planes resultantes casi siempre morirán cuando lleguen al taller, principalmente por dos razones:

a. Validez técnica: no es posible que un individuo pueda tener conocimiento adecuado de las funciones, modos de falla, efectos y las consecuencias de las fallas de los activos para los que se ha desarrollado el programa.

b. Pertenencia: las personas del taller tienden a ver los programas como papeleo inoportuno que viene de alguna torre de marfil y desaparece luego de ser anunciado.

Utilizar solo el departamento de mantenimiento para aplicar RCM. Si el personal de producción y mantenimiento no están estrechamente involucrados en ayudar a definir las funciones y los estándares de funcionamiento, generalmente surgen dos problemas:

- El personal de mantenimiento lo hace por sí mismo.
- Hay poca o ninguna aceptación del programa por parte de los usuarios.

Estos tienen los mismos defectos que se aplican a las personas en forma individual, a los departamentos de mantenimiento que lo hacen por sí mismos y a los fabricantes / proveedores de equipos.

Además, la mayoría del personal externo desconoce la dinámica de la organización para la cual se hacen los programas.

Usar computadores para conducir el proceso. Usar un computador en forma inapropiada para conducir el proceso también puede tener un efecto fuertemente negativo en la comprensión de RCM.

Demasiado énfasis en una computadora significa que RCM comienza a ser visto como un ejercicio mecánico de llenado de una base de datos, en lugar de un análisis de las verdaderas necesidades del activo en revisión.

5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

De acuerdo al problema planteado el cual está referido al diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en las maquinas herramientas del bloque cinco y el cepillo puente del pascual bravo; el tipo de estudio de este trabajo de grado es descriptivo porque se detallan las condiciones actuales de las maquinas herramientas, así como para describir registro e interpretación del problema actual, además requiere de técnicas específicas así como de criterios y formatos de recolección de información y documentación. Este estudio es documental, ya que es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios. Se basa en el uso de textos, manuales, revistas, guías, normas, bitácoras, registros, tesis de pregrados y otros que respaldan los fundamentos teóricos para la solución del problema. Y de campo ya que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes.

En la realización de este trabajo se obtendrá y maneja una gran cantidad de información, para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados. La información recabada será de carácter teórica y práctica, para así lograr diseñar el plan de mantenimiento propuesto para el sistema de aire. Entre las técnicas empleadas en la recolección de datos se encuentran:

5.1 OBSERVACIÓN DIRECTA.

Se utiliza como técnica para identificar y describir los elementos que conforman a las máquinas herramientas, con ayuda del personal de operaciones y mantenimiento. Aunado a esto se captó el entorno y procedimiento para las actividades de mantenimiento implementadas actualmente para el sistema.

5.2 ENTREVISTAS CON EL PERSONAL.

Técnica fundamental para el desarrollo de la investigación, consistió en un dialogo o conversación, donde la información suministrada por parte de los entrevistados tanto en el área de mantenimiento y operaciones, consolidó la investigación y permitió conocer el funcionamiento de los equipos, las fallas de los equipos, las que se realizan, las opiniones para la toma de decisiones, entre otros.

5.3 LA DESCRIPCIÓN.

Esta técnica, detalla los resultados de las observaciones que se realicen, para analizar el sistema en estudio tanto en el área operacional como en el de mantenimiento, con miras a la resolución de los objetivos.

5.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD.

Es una técnica que permite simplificar el estudio, propiciando análisis exhaustivos

sobre los activos que así lo ameriten, es decir, los más importantes y donde es necesario mejorar los índices registrados. Esto con el fin de tomar decisiones acertadas para la aplicación de las actividades de mantenimiento.

5.5 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC).

Esta técnica es la fuente principal del desarrollo del estudio, se fundamenta en un análisis sistemático, objetivo y documentado del problema. Se encarga de estudiar a profundidad los activos, con el fin de ir lidiando con el problema hasta obtener la solución final.

Los estudios de esta metodología se dividen en dos técnicas: el AMEF (análisis de modo y efecto de fallas) y el ALD (árbol lógico de decisiones), La primera para estudiar el problema mediante, la función, las fallas, los modos y los efecto de las fallas de los activos, mientras que la segunda busca detectar las acciones necesarias para resolver los inconvenientes.

5.6 DOCUMENTACIÓN.

Esta técnica sirve de apoyo durante la elaboración de la investigación, se basa en obtener registros, documentos, manuales, entre otros documentos relacionados con los activos a estudiar. Esta información contribuye para el análisis y la toma de decisiones.

5.7 LA PREDICCIÓN.

Técnica que consiste en estimar las acciones a implementar para resolver el problema, tomando en cuenta información obtenida a lo largo de la investigación.

5.8 MANEJO DE PROGRAMAS DE COMPUTACIÓN.

El uso de programas de computación, es importante para la recopilación de información, agilizar los cálculos y procesar la información, ordenar la información para su fácil y rápido entendimiento.

6. METODOLOGÍA

Para desarrollo del proyecto en búsqueda de la solución adecuada y satisfactoria al problema planteado y cumplir con los objetivos propuestos se realizarán las etapas que se describen a continuación.

6.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Esta etapa se fundamenta en la búsqueda de información técnica sobre el problema planteado, para lograr el cumplimiento de los objetivos y alcanzar bases teóricas necesarias. Se recopila información centrada en los siguientes tópicos: Mantenimiento, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Análisis de Modos y Efecto de Fallas (AMEF), Árbol Lógico de Decisiones (ALD) y Análisis de Criticidad (AC), Maquinas herramientas, activos que conforman el sistema objeto de estudio. La indagación se apoyó en consultar: libros, documentos técnicos, tesis de grado, guías, manuales, normas e Internet.

6.2 IDENTIFICACIÓN, DIAGNÓSTICO Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA, EQUIPOS Y COMPONENTES A ESTUDIAR.

Esta etapa cuenta con la utilización de varias técnicas y fases, las cuales nos ayudaran a descifrar la situación actual de las máquinas. La primera fase se basa en la recolección de datos e información. Se hace una búsqueda de los datos técnicos y de proceso de los equipos mediante los manuales de los fabricantes.

La segunda fase consiste en realizar visitas en los talleres, para así determinar el estado de los equipos. Mediante observación directa se logra conocer el estado externo de los equipos, se debe tocar y escuchar los equipos para determinar cualquier anomalía presente. Además se tomarán mediciones de parámetros, a fin de compararlos con los adecuados y determinar si cumplen con las especificaciones de proceso.

6.3 DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LOS EQUIPOS RELEVANTES DEL SISTEMA.

Esta etapa consiste en jerarquizar los componentes de los equipos asociados al estudio, para así enfocar e intensificar los estudios hacia los componentes que lo ameriten. Esta jerarquización propicia al Equipo de Trabajo a seleccionar los equipos relevantes del sistema, y emplear una serie de técnicas.

Se utilizará la metodología D.S. para determinar la criticidad de los componentes, técnica que se basa en ponderar factores tanto del área de mantenimiento como el de operaciones, para así obtener un porcentaje de criticidad y determinar según los rangos establecidos por el método la criticidad del activo.

La primera fase se fundamenta en minimizar la lista de componentes a realizarle el análisis de criticidad. Mediante la experiencia del personal se descartará directamente los componentes con criticidad baja y se definirá los componentes que si ameritaban el estudio. Esto se produce mediante reuniones con los integrantes del equipo natural de trabajo.

Para la segunda fase, debido a que no se tienen registros de los equipos, se realizará una encuesta al personal la cual consiste en responder las interrogantes

que presenta la metodología D.S.

6.4 APLICACIÓN DE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLAS (AMEF).

Una vez determinados los equipos y componentes críticos del sistema, se aplicara el análisis de modos y efecto de fallas, el cual consiste en determinar las funciones, las fallas de las funciones, las causas y las consecuencias de las fallas. Para el desenvolvimiento de esta etapa se utilizaran técnicas de revisión bibliográfica y entrevistas con el personal, los manuales de fabricantes, Internet.

6.5 ESTABLECER ÁRBOL LÓGICO DE DECISIONES.

Esta etapa se fundamenta en determinar las acciones necesarias a implementar para el sistema, mediante el método del flujograma de preguntas del árbol lógico de decisiones. La técnica empleada fue las reuniones con el Equipo Natural de Trabajo y entrevistas constante con el personal de experiencia.

Se llevaran a cabo dos fases: la primera consiste en someter a cada modo de falla al flujograma de preguntas del árbol lógico de decisiones, hasta llegar a una respuesta positiva en la acción a implementar y la segunda fase se basa en asentar los datos arrojados por el diagrama, en una hoja de decisión de adaptación propia.

6.6 DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.

Una vez determinadas las actividades a realizar, al igual que su frecuencia y

departamento ejecutor, la etapa del diseño del plan de mantenimiento consiste en asentar las actividades de una manera ordenada y eficaz dentro del plano de ejecución de mantenimiento, aunado a lo anterior sólo se agrega las horas hombres que traen consigo cada actividad.

En la primera fase de esta etapa se realiza un programa de operación de los equipos del sistema con ayuda del personal de operaciones, para conocer con certeza cuándo operaran y así programar las actividades de mantenimiento, según la fecha en que están fuera de servicio o en servicio.

Para la segunda fase sustentada en organizar las actividades, se contara con entrevistas con el personal de mayor experiencia en el área de mantenimiento, donde se procede a distribuir las actividades, colocando juntas las que pueden realizarse consecutivamente, pero sin acarrear tiempos diarios excesivos de mantenimiento.

6.7 SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

Se basa en crear un método o sistema para documentar todo lo concerniente al sistema. Las técnicas empleadas serán constantes entrevistas con el Equipo Natural de Trabajo y revisión de manuales de equipos y libros técnicos del área de mantenimiento. El sistema de recolección permite documentar la confiabilidad de los equipos y asentar las actividades realizadas. Ambas con la creación de formatos específicos. A su vez se crea un algoritmo de secuencia de pasos a seguir para la documentación del sistema.

7. RESULTADOS

Con este proyecto basado en el diseño de un plan de mantenimiento en Rcm buscamos aumentar la eficiencia y garantizar el buen estado de los utensilios de la institución. Todo esto se debe llevar a cabo respetando las listas de chequeo y cumpliendo con las rutinas de mantenimiento que queden estipulados.

7.1 DEFINICIÓN DEL ENTORNO EN LA INSTITUCIÓN.

La institución universitaria pascual bravo tiene como objetivo principal formar profesionales integrales, de acuerdo con las exigencias del desarrollo de la región y del país, con recurso humano, técnico, tecnológico y científico indispensable para el desarrollo socioeconómico del Municipio de Medellín, del Departamento de Antioquia, y del país y propender por la integración al proceso nacional de desarrollo preservando sus valores ambientales, culturales y sociales.

Para cumplir con este objetivo en el taller del bloque cinco se cuenta con las siguientes máquinas.

FIGURA 6. Inventario de equipos



INVENTARIO DE EQUIPOS DEL LABORATORIO DEL BLOQUE CINCO

Número	Máquina	Cantidad
1	Sierra Eléctrica	1
2	Esmeril	3
3	fresadora	2
4	Tornos	5

Toda la operación de estas maquinas son de uso formativo de los estudiantes y el mantenimiento se lleva acabo generalmente por laboratoristas mismos de la institucion.

7.2 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO ASOCIADOS A LA FUNCIÓN.

El modo de falla funcional, que es un evento que causa una falla funcional, debe ser bien detallado. Puede ser que este ya ha ocurrido regularmente en un equipo o que es probable que ocurra dentro del contexto operativo en análisis.

Para explicarlo de mejor forma.

No es lo mismo decir:

Daño en el rodamiento, que:

Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación, ya que esta forma tenemos una idea más clara de lo que ha ocurrido.

A continuación en la tabla se detalla los modos de falla del torno pinacho sp/200

FIGURA 7. Modos de fallos

Hoja de Información RCM		Maquina				Fecha:
		Torno pinacho sp/200				
#	Función	#	Falla Funcional	Parte Asociado	# fm	Modo de falla
1	Generar movimiento rotativo que permita realizar los trabajos de refrentado, roscado ó cilindrado.	A	No genera movimiento rotatorio	Motor eléctrico	1	Desgaste de contactares normal por tiempo de operación. Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación

Continuación tabla 7

Hoja de Información RCM		Maquina				Fecha:
		Torno pinacho sp/200				
#	Función	#	Falla Funcional	Parte Asociado	# fm	Modo de falla
		A	No genera movimiento rotatorio	Embrague	2	Desgaste del o-ring por tiempo de operación
		A	No genera movimiento rotatorio	Reductor	3	Ruptura de bandas del reductor por el tiempo de uso.
		B	No realiza el roscado o cilindrado de acuerdo a las especificaciones.	Eje de roscado	4	Desgaste de eje roscado por incorrecta lubricación y/o tiempo de operación.

Continuación Tabla 7

Hoja de Información RCM		Maquina				Fecha:
		Torno pinacho sp/200				
#	Función	#	Falla Funcional	Parte Asociado	# fm	Modo de falla
		B	No realiza el roscado o cilindrado de acuerdo a las especificaciones	Carro de avances	1	Daño en el tornillo interior del avance transversal, por el tiempo de operación.
		B	No realiza el roscado o cilindrado de acuerdo a las especificaciones.	Caja de avances	3	Desgaste de los engranes por tiempo de operación.
		B	No realiza el roscado o cilindrado de acuerdo a las especificaciones.	Caja de avances	3	Desgaste de los engranes por tiempo de operación.

- **Descripción de Efectos asociados a cada modo de fallo.**

En la sección anterior se definió todos los modos de falla asociados a las fallas funcionales. El siguiente paso es detallar la consecuencia producto de la ocurrencia de cada uno de esos fallos. Para ello se debe formular varias preguntas que nos ayuden a describir estas consecuencias.

Modo de falla: Ruptura de bandas del reductor por tiempo de uso

Preguntas para encontrar el efecto asociado al modo de falla:

¿Qué evidencia existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido?

La máquina se paraliza completamente, evidente ruptura de bandas.

¿De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si la representa)?

No existe afectación a seguridad, salud ni medio ambiente.

¿De qué manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta)?

La máquina se paraliza completamente. (No produce)

¿Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla?

Evidente ruptura de bandas.

¿Qué debe hacerse para reparar la falla?

Se debe realizar el cambio requerido en un tiempo estimado de 2 horas.

Con la contestación a cada una de estas interrogantes, nuestro efecto de falla se evidencia con mayor claridad y de esta forma se puede asignar una tarea adecuada de mantenimiento para mitigar el mismo.

Tabla 13. modos y efectos de fallas.

MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
Desgaste de contactores normal por tiempo de operación.	El motor eléctrico se apaga. Se evidencia calentamiento excesivo en la carcasa del motor. No existe afectación a seguridad, salud ni medio ambiente. Se debe realizar el cambio de contactores en un tiempo estimado de 3 horas.
Ruptura de bandas del reductor por el tiempo de uso.	Evidente ruptura de bandas, la maquina se paraliza completamente. No existe afectación a seguridad, salud ni medio ambiente. Se debe realizar el cambio requerido en un tiempo estimado de 2 horas.
Desgaste del o-ring por tiempo de operación.	Se evidencia dificultad de movimiento en el mandril. No existe afectación a seguridad, salud ni medio ambiente. Se debe realizar el cambio requerido en un tiempo estimado de 5 horas.
Desgaste de el/los discos por tiempo de operación.	Se evidencia dificultad de movimiento en el mandril y se escucha un ruido extraño. No existe afectación a seguridad, salud ni medio ambiente. Se debe realizar el cambio requerido en un tiempo estimado de 8 horas.
Daño en el tornillo interior del avance transversal, por el tiempo de operación.	Se aprecia que el roscado no es el correcto a pesar de estar colocadas las especificaciones de trabajo correctamente. No existe afectación a la seguridad o ambiente. Se debe realizar la reparación del tornillo en un tiempo estimado de 4 horas.

Continuación de la tabla 8

MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA
Desgaste de eje roscado por incorrecta lubricación y/o tiempo de operación.	Se evidencia crecimiento en las tolerancias de fabricación. Presenta ruido de contacto y dificultad de avance. No existe afectación a la seguridad o medio ambiente. Se debe realizar los trabajos de reparación en un tiempo estimado de 8 horas

7.3 DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA

Definición de las tareas de mantenimiento por modo de fallo.

El algoritmo de la norma SAE JA1012 es una herramienta que nos sirve para determinar la tarea de mantenimiento que vamos a ejecutar a cada modo de fallo, basándose en los modos de fallo que sumados den más del 50% del total de la sumatoria de todos los modos de fallo en análisis además de varios factores como la seguridad ambiental, la seguridad personal.

Acontinuacion vamos a a determinar la aplicación del algoritmo con su respectiva tarea de mantenimiento

Aplicación del algoritmo.

Modo de fallo 1:

Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación

Paso 1. Pregunta A

La pérdida de la función causada por este modo de falla por sí mismo se vuelve evidente para el equipo de operadores en circunstancias normales.

Respuesta: SI

Paso 2. Pregunta B

Existe un riesgo intolerable de que los efectos de este modo de falla puedan dañar o matar a alguien?

Respuesta: NO

Paso 3. Pregunta C

Existe un riesgo tolerable de que los efectos de este modo de falla pueda violar un estándar o una regulación ambiental conocida?

Respuesta: NO

Paso 4. Pregunta 4

Es factible y vale la pena hacer una tarea programada basada en condición?

Respuesta: SI

Fin de la aplicación para el modo de fallo 1

Modo de fallo 2:

Desgaste del/los discos de embrague por errores de operación.

Paso 1. Pregunta A

La pérdida de la función causada por este modo de falla por sí mismo se vuelve evidente para el equipo de operadores en circunstancias normales.

Respuesta: SI

Paso 2. Pregunta B

Existe un riesgo intolerable de que los efectos de este modo de falla puedan dañar o matar a alguien?

Respuesta: NO

Paso 3. Pregunta C

Existe un riesgo tolerable de que los efectos de este modo de falla pueda violar un estándar o una regulación ambiental conocida?

Respuesta: NO

Paso 4. Pregunta D

El modo de falla tiene un efecto directo adverso en la capacidad operacional?

Respuesta: SI

Indicadores CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad)

Para determinar cada indicador es necesario partir primero de los conceptos básicos de cada uno:

- **Criterio de confiabilidad**

La confiabilidad puede ser definida como: la confianza que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación. Otra definición importante de confiabilidad es: probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas.

Se expresa como:

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

$R(t)$: Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado

E : Constante Neperiana ($e = 2.303..$)

λ : Tasa de fallas (número total de fallas por período de operación)

T : Tiempo

- **Criterio de mantenibilidad**

La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos.

En términos probabilísticas, Francois Monchy, define la mantenibilidad como: “la probabilidad de restablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos”. Simplemente “la probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea reparado en un determinado tiempo t ”.

Se expresa como:

$$D = (t) = 1 - e^{-\mu \cdot t}$$

Dónde:

M (t): es la función mantenibilidad, que representa la probabilidad de que la reparación comience en el tiempo

t=0 y sea concluida satisfactoriamente en el tiempo t (probabilidad de duración de la reparación).

e: constante Neperiana (e=2.303..)

μ : Tasa de reparaciones o número total de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación del equipo.

t: tiempo previsto de reparación TMPR

- **Criterio de disponibilidad.**

La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente.

Se expresa como: $D(t) = \frac{t_{mef}}{t_{mef} + t_{mpr}}$ ec.6

Dónde:

D (t): Es la función de la disponibilidad en el tiempo t

TMEF: Tiempo medio entre fallos

TMPR: Tiempo medio para reparar

8. CONCLUSIONES

Actualmente en el laboratorio los equipos se encuentran en condiciones externas muy buenas y están ubicados en un lugar adecuado. La implementación de un plan de mantenimiento contribuirá de manera importante debido a que con la confiabilidad podemos conocer el estado y el funcionamiento de los equipos, de esta manera ayudamos a garantizar una mayor duración.

El AMEF determinó (10) funciones, (6) fallas funcionales, (7) modos de falla y efecto de falla a los componentes críticos del sistema, proporcionando información relevante para la elaboración del plan de mantenimiento.

La causa que origina demoras en la ejecución del mantenimiento de los equipos, es la falta de repuestos y equipos en el taller y almacén de la institución.

La conformación actual de la fuerza laboral del taller está más enfocada hacia la corrección de fallas que a la prevención, debido a que ésta no cuenta con personal encargado de la manutención e inspección de las condiciones básicas de los equipos antes de su funcionamiento.

El plan de mantenimiento elaborado, presenta el 83% de tareas preventivas, de las cuales predominan las tareas con frecuencia trimestral y anual.

9. RECOMENDACIONES

Utilizar el plan de operación diseñado, evitando frecuencias inadecuadas y desiguales de encendido y apagado de los equipos.

Implementar el sistema de recolección de información, además de enseñar a los estudiantes sobre el correcto uso del mismo, en búsqueda de la confiabilidad operacional e influir positivamente sobre las tomas de decisiones.

Inspeccionar el plan anualmente, para realizar cualquier ajuste en caso de ser necesario, principalmente revisar que las frecuencias de ejecución sean convenientes para la gestión.

Realizar un inventario de las piezas del sistema que se encuentran en taller y almacén, para luego elaborar un plan de adquisición de repuestos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- MOUBRAY John, MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD, edición en español 2004.
- KRAR Steve, SMID Peter, GILL Arthur TECNOLOGIA DE LAS MAQUINAS Y HERRAMIENTA.
- PÉREZ, C. Soporte y Cía. Ltda. EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO, edición 2003.
- HUERTA Rosendo, El Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional
- DOCUMENTOS DE ARCHIVO
- NORMA SAE JA 1011 Criterios de evaluación de mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)
- NORMA SAE JA 1012 Guía para el mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)
- <http://mantenimientoindustrial.wikispaces.com/Plan+de+mantenimiento+basado+en+RCM+-+Inicio>
- <http://www.maconsultora.com/MantConfiabilidad.html>