



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
DR" ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE METALURGIA ELECTROMECÁNICA
PROGRAMA DE MAESTRÍA DE ELECTROMECÁNICA**

Tesis en opción al título de Master en Electromecánica

**Establecimiento del mantenimiento avanzado en
máquinas herramienta con arranque de virutas de la
Cooperativa torfrecol R.S.**

Autor (a): Ing. Oberto José Pérez

Tutores: Prof. Tit. Tomás Fernández Columbié, Dr. C.

Prof. Aux. Jorge Luís Reyes De la Cruz, Ms. C

Cabimas, 2016



RESUMEN

El presente trabajo realiza un estudio relacionado con la organización del sistema de gestión del mantenimiento del equipamiento electromecánico de la Cooperativa Torfrecol r.s para prolongar la vida útil de los equipos con seguridad y garantía en su funcionamiento. A partir del estudio realizado se diagnóstica y evalúa la gestión de mantenimiento aplicando el proceso de auditoría, lo que permite establecer los objetivos, lineamientos y política en los ciclos de mantenimiento en las maquinas herramientas de la Cooperativa Torfrecol r.s.

Se proponen los modelos y procedimiento de cálculo apropiado para la evaluación del sistema de gestión del mantenimiento, utilizando una base de datos en Microsof Access, este avance tecnológico, permite llevar a cabo el control del mantenimiento de los equipos, su servicio preventivo y correctivo y determinar su operatividad.

Como propósito del efecto ambiental relacionado con la gestión del mantenimiento en las máquinas herramienta de la Cooperativa Torfrecol r.s, se analiza las incidencias más significativas, en el derrame de virutas, aceites lubricantes, y productos oleosos.



ABSTRACT

The present Work makes a study related to the organization of the management system maintenance electromechanical equipment of the Cooperative Torfrecol R.S to extend the life of equipment and guarantee safe operation. From the study made it evaluates diagnostic and maintenance management using the audit process, which allows you to set the objectives, guidelines and policy maintenance cycles in the machine tools Torfrecol Cooperative R.S.

Models and method of calculation appropriate to the evaluation of system maintenance management are proposed, using the database in Microsof Access, this new technology allows to carry out control equipment maintenance, your preventive and corrective service and determine operability.

The purpose of the environmental effects related to maintenance management in machine tools Cooperative Torfrecol R.S, the most significant issues discussed in the spill shavings, lubricating oils and oil products.

ÍNDICE GENERAL

	<i>Pág.</i>
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1 Introducción.....	5
1.2 Antecedentes de la Investigación.....	5
1.3 Características de las maquinas herramientas con arranque de virutas de la cooperativa.....	7
1.3.1 Torno.....	7
1.3.2 Fresadora.....	8
1.3.3 Taladro Vertical.....	10
1.4 Generalidades del mantenimiento de las máquinas de arranque de virutas.....	11
1.5. Análisis de criticidad.....	13
1.5.1. Principales aspecto teórico para realizar un análisis de criticidad.....	14
1.5.2. Información requerida para la elaboración del análisis de criticidad.....	15
1.6. Caracterización del modo y efecto de fallas y criticidad.....	16
1.7. Causas que impactan el mantenimiento.....	19
1.8. Período de vida de un equipo o sistemas de equipos.....	20
1.8.1. Período de vida útil.....	21
1.8.2. Período de envejecimiento rápido.....	22
1.8.3. Probabilidad de falla.....	22
1.9. Conclusiones del capítulo 1.....	24
CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS	
2.1 Introducción.....	25
2.2 Caracterización de los equipos de la empresa torfrecol r.s.....	25
2.3 Fichas técnicas de los equipos de arranque de viruta.....	26
2.4 Ciclo de mantenimiento.....	29
2.5 Cálculo de la distribución de probabilidades.....	30
2.5.1. Cálculo de la distribución de probabilidades binomial.....	31
2.5.2. Media de la distribución binomial.....	32
2.5.3. Distribución de probabilidad hipergeométrica.....	33
2.5.4. Distribución de probabilidad de Poisson.....	33
2.5.5. Distribución Weibull.....	35

2.6. Procedimiento para realizar el AMEF.....	38
2.7. Conclusiones del capítulo 2.....	40
CAPÍTULO III Análisis de los resultados, valoración económica e impacto medio ambiental	
3.1 Introducción.....	41
3.2 Análisis del mantenimiento por criticidad.....	42
3.3 Análisis del mantenimiento por AMEF.....	44
3.4 Análisis por el método de Weibull.....	45
3.5 Análisis de la distribución Weibull.....	48
3.6 Análisis de árbol de fallas (AAF).....	49
3.7 Herramienta para la ejecución del Plan de Mantenimiento.....	50
3.8 Análisis económico.....	54
3.9 Impacto medioambiental de la aplicación del mantenimiento a las máquinas herramientas de la cooperativa Torfrecol r.s.....	55
3.10. Conclusiones del capítulo 3.....	56
CONCLUSIONES GENERALES.....	57
RECOMENDACIONES.....	58
BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXOS.....	63

INTRODUCCIÓN

Actualmente en el mundo toda empresa de producción, servicio o mantenimiento, ha establecido como política, la optimización de sus procesos productivos, lo que hace necesario la innovación de los recursos de trabajo (equipos, materiales, repuestos y personal técnico). También es imperioso analizar los problemas que surgen en el funcionamiento de los equipos y el rendimiento de las habilidades de las personas; con el fin de garantizar la confiabilidad operacional, manteniendo los niveles de producción de acuerdo a las necesidades o fines establecidos por cada empresa.

De lo anterior radica la necesidad de optimizar el funcionamiento de los equipos, para conseguir una solución efectiva para la toma de decisiones que generen un alto impacto en las metas de producción, calidad de productos, costos de operación y mantenimiento. Es por ello que se hace necesario que los equipos funcionen de forma óptima a través de la evaluación de los sistemas y equipos críticos para el proceso productivo. Además del mantenimiento de los recursos de trabajo que permita cumplir sus objetivos basándose en una política de calidad total, donde juegue un papel importante el mantenimiento de los equipo requeridos, para la producción, buscando la mayor eficiencia en todos sus parámetros de funcionamiento efectivo.

Situación problemática

Los equipos de arranque de virutas de la cooperativa torfrecol r.s, lo conforman tres tornos, una fresadora y un taladro a los cuales solo se les aplica mantenimiento correctivo, lo que trae como consecuencia la disminución de la confiabilidad de los mismos, lo que a su vez conduce a una baja disponibilidad al momento de realizar los trabajos de mecanizado. Aunado a esto se han evidenciado fallas constantes en los equipos, incremento en los costos de reparación y mano de obra, como consecuencia de la falta de adecuados planes de mantenimiento. Por estas razones es de vital importancia el establecimiento de un plan de mantenimiento para los equipos de la cooperativa.

Problema de investigación

Insuficiente conocimiento relacionado con el mantenimiento en las máquinas herramienta de arranque de virutas en la industria metalmecánica.

Objeto de la investigación

Máquinas herramienta con arranque de virutas de la empresa Torfrecol r.s.

Campo de acción

Mantenimiento por fallas y criticidad en las máquinas herramienta con arranque de virutas.

Objetivo general

Establecer una estrategia de mantenimiento por fallas y criticidad en las máquinas herramienta con arranque de virutas para garantizar su disponibilidad técnica en el trabajo de mecanizado.

Objetivos específicos

1. Establecer el estado del arte de operación y mantenimiento de los equipos que se emplean para el mecanizado.
2. Establecer el procedimiento metodológico para determinar el mantenimiento avanzado que debe aplicarse a los equipos de arranque de virutas, así como el estudio técnico económico de estos equipos.
3. Establecer a partir de los parámetros requeridos el comportamiento del mantenimiento en las máquinas de arranque de virutas de la Cooperativa Torfrecol r.s.

Hipótesis

El establecimiento del plan de mantenimiento en las máquinas con arranque de virutas de la Cooperativa Torfrecol r.s es una estrategia que permitirá evitar el aumento de fallas de estos equipos, lo que incrementara la productividad y también proporcionara un control de los fallos y averías que actualmente no existen en la empresa.

Tareas del trabajo

1. Establecimiento del estado de arte de los conocimientos y teorías relacionadas con el mantenimiento.
2. Análisis de los efectos de las variables empleadas en el sistema de mantenimiento por fallas y mantenimiento por criticidad en los equipos.
3. Diseño, planificación y realización de experimentos.
4. Análisis de resultados de las variables y condiciones de trabajo de los equipos.
5. Planteamientos de los efectos económicos, sociales y ambientales relacionados con el mantenimiento.

Aportes metodológicos del trabajo

- ✓ Los aspectos teóricos acerca del mantenimiento por fallas y el mantenimiento por criticidad empleado en las máquinas herramienta con arranque de virutas, permiten desarrollar las metodologías precisas a casos concretos de equipos con arranque de virutas en las industrias metalmeccánicas que utilice sistemas similares.

Aportes prácticos del trabajo

- ✓ El plan de mantenimiento permitirá que el personal de mantenimiento y los operadores cuenten con normativas y procedimientos operacionales para mantener las máquinas que permita a la empresa adquirir un alto nivel de calidad en la producción.
- ✓ También hace posible la implementación de las acciones de mantenimiento más adecuadas, es decir, aquellas que con su aplicación preventiva garanticen una disminución apreciable de las frecuencias de las fallas. Además, se creó una base de datos de mantenimiento accesible al personal involucrado, que le permitirá un mejor manejo y recolección de la información para asegurar que el mantenimiento que se requiera se lleve a cabo con la frecuencia que se especifica.

Dentro de los métodos teóricos más empleados fueron:

- ✓ **Análisis y síntesis:** división y unión abstracta de las variables empleadas en el trabajo, el mantenimiento por fallas y el mantenimiento por criticidad, para facilitar su estudio.
- ✓ **Inducción y deducción:** la inducción permitió abordar a proposiciones generales desde los hechos aislados y la deducción posibilitó, a partir del estudio de conocimientos generales de los métodos de cálculo relacionado con el mantenimiento por fallas y el mantenimiento por criticidad.
- ✓ **Los métodos históricos:** posibilitaron el estudio detallado de los antecedentes, causas y condiciones históricas en que surgió el problema,
- ✓ **Métodos lógicos:** se basaron en el estudio histórico del fenómeno del mantenimiento relacionado con objetos de la ingeniería mecánica.
- ✓ **La modelación:** se crearon abstracciones para representar la realidad compleja del fenómeno del mantenimiento.
- ✓ **Los métodos empíricos:** explican las características observables y presuponen determinadas operaciones prácticas, tanto con los objetivos, como con los medios materiales del conocimiento utilizado. Estos métodos se expresan a través de las técnicas de la observación, documentación, la comunicación personal e impersonal, además de la experimentación.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

El proceso de arranque de virutas tiene lugar de manera fundamentalmente igual en todas las máquinas que trabajan piezas mediante mecanizado (tornos, fresadora, taladradora, entre otras.). Para trabajar en estos equipos de manera segura y para la elaboración de planes de mantenimiento se necesitan tener conocimientos básicos sobre el proceso de mecanizado. Por tal motivo el objetivo de este capítulo es establecer los elementos teóricos relacionados con el mantenimiento de las máquinas herramientas con arranque de virutas en el maquinado de piezas.

1.2. Antecedentes de la Investigación

Se denomina máquinas herramienta a aquellas que utilizan una fuente de energía distinta del movimiento humano, aunque también puedan ser movidas por personas cuando no hay otra fuente de energía. Los historiadores de la tecnología consideran que las máquinas herramienta nacieron cuando se eliminó la actuación directa del hombre en el proceso de dar forma o troquelar los distintos tipos de herramientas. Se considera que el primer torno que puede considerarse máquina herramienta fue el inventado alrededor de 1751 por Jacques de Vaucanson, fue el primero que incorporó el instrumento de corte en una cabeza ajustable mecánicamente, quitándolo de las manos del operario. (Schwab 2011).

Aunque no fue sino hasta el año 1950, cuando en la U.R.S.S se empezó a estudiar un sistema de mantenimiento de las máquinas herramienta. (Gómez 1998).

En cuanto a las últimas investigaciones sobre mantenimiento en máquinas herramienta se pueden mencionar, Hernández (2005). El trabajo plantea el diseño y creación de un sistema gestor de base de datos que permite la caracterización de estos equipos en la Provincia de Holguín y tiene como objetivos fundamentales reflejar la distribución y estado actual de los mismos. La investigación contribuye con la presente, ya que se empleó el lenguaje de programación el generador de aplicaciones Microsoft Access Basic, aprovechando los controles que este brinda en el manejo de vínculos con las bases de datos. Aplicación que también será empleada para generar la base de datos. Aunque en comparación con la siguiente

investigación esta base de datos no contiene el plan de mantenimiento para estos equipos.

Adicionalmente, Briceño y Rodríguez (2002), la investigación tuvo como objetivo crear tablas en el programa en Excel para almacenar datos en las mismas. La investigación referida aporta al presente estudio debido a que explica de manera clara y precisa procedimientos, métodos y técnicas de investigación que pueden servir de guía para el logro de los objetivos propuestos. Esta investigación no aporta el programa de mantenimiento para equipos como fresadoras y taladros ni en ella se hace un estudio de la confiabilidad de los equipos.

El trabajo realizado por Guio y Molina (2008), El aporte de esta investigación tiene estrecha relación, para la Gerencia de Mantenimiento de Torfrecol r.s, es imprescindible el buen funcionamiento del mantenimiento para tener una mejor productividad y competitividad en el mercado, es por ello que se propone diagnosticar, analizar, proponer lineamiento estratégicos para la mejora del funcionamiento de los indicadores de gestión del mantenimiento. La investigación consistió en realizar un análisis de Pareto y un análisis de modo y efecto de fallas, el instrumento de recolección de datos lo conformo el reporte de fallas. En la tesis se hace un estudio únicamente de la confiabilidad de los tornos.

El trabajo presentado por La Torre (2007), aporó ya que planteó como objetivo realizar un análisis de criticidad de modo y efecto de falla de los tornos para proceder a elaborar el programa de mantenimiento solo de los tornos sin tomar en cuenta otros equipos.

Gavidia (2007) y Reverol (2010). Ambos trabajos de investigación se realizaron sobre el mantenimiento de tornos y se elaboraron los formatos de inspección en Excel. Dado que el presente trabajo trata de establecer un plan de mantenimiento avanzado en las máquinas con arranque de virutas, se comenzará en este capítulo con los aspectos básicos, sobre las máquinas herramienta. Para el estudio relacionado con el mantenimiento a máquinas herramienta se debe disponer de la caracterización de las máquinas herramienta a objeto de estudio.

1.3. Características de las máquinas herramienta con arranque de virutas de la cooperativa

La empresa Torfrecol r.s para la realización de sus actividades utiliza principalmente tres tipos de máquinas herramienta, el torno, la fresadora y el taladro vertical las cuales son utilizadas para la mecanización de las partes metálicas del producto. A continuación se definen cada una de ellas.

1.3.1. Torno

El torno convencional es una máquina herramienta para mecanizar piezas por revolución arrancando material en forma de viruta mediante una herramienta de corte. Ésta será apropiada al material a mecanizar pudiendo estar hecha de acero al carbono, acero rápido, acero rápido al cobalto, tungsteno, cerámica, diamante y que siempre será más dura y resistente que el material mecanizado.

El movimiento del torno lo proporciona un motor eléctrico que transmite su giro al husillo principal mediante un sistema de poleas o engranajes. El husillo principal tiene acoplado a su extremo distintos sistemas de sujeción (platos de garras, pinzas, mandriles auxiliares), los cuales sujetan la pieza a mecanizar; por su constante movimiento y frecuentes desgaste a los que están sometidos algunos elementos y mecanismo los cuales se deben realizar acción de mantenimiento. En la figura 1.1 se muestran las partes móviles del torno.

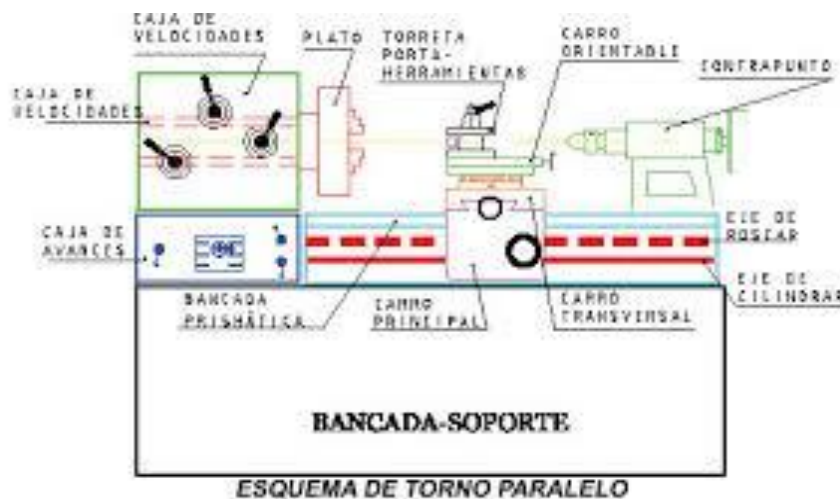


Figura 1.1. Torno paralelo y sus partes móviles a los que les realizan acciones de mantenimiento

La empresa torfrecol r.s, dedicada al maquinado de piezas para diferentes propósitos. Para lo cual dispone de tres tornos de tipo convencionales horizontales, de los cuales, según información suministrada por el jefe de operaciones de la empresa, se encuentran en condiciones 100 % operativos. Para la el establecimiento del plan de mantenimiento avanzado se hace necesario conocer a profundidad la situación actual de mantenimiento en los componentes de los mismos y de esta manera tener un punto de partida que permita la elaboración del plan de mantenimiento avanzado.

Tomando en consideración el mantenimiento que es ejecutado a los equipos en cuestión, se encontró que el principal tipo de mantenimiento aplicado es la revisión de los niveles de fluidos de trabajo, a través de inspecciones visuales en los indicadores concernientes a cada tipo de fluido. Cabe destacar que actualmente la empresa torfrecol r.s, no cuenta con un programa asistido por computador para la administración del mantenimiento preventivo que contribuya a la mejor aplicación del mismo con un mayor control de las actividades. Mejorando así lo concerniente el mantenimiento aplicado.

El mantenimiento a los componentes de los tornos es de tipo correctivo que según los operadores, se lleva a cabo al suscitarse una falla inesperada que altere el funcionamiento normal de los mismos. Las acciones asumidas van en función de la naturaleza de las fallas presentadas, estas pueden ser de menor a mayor grado o viceversa, algunas de las acciones desde el desmontaje del motor principal por fallas de algunos de sus componentes internos, sustitución de la bomba de aceite por deficiencia en el bombeo del fluido del sistema de lubricación o el reemplazo de correas del sistema de transmisión.

1.3.2. Fresadora

La fresadora es una máquina de potencia utilizada para dar formar complejas a las partes de metal (o posiblemente de otros materiales). Su forma básica es el de un cortador rodante que gira en el eje vertical, y que se puede mover en tres dimensiones en relación a la pieza de trabajo. El movimiento a lo largo de la superficie de la pieza de trabajo se lleva a cabo generalmente mediante una tabla

móvil en la que se monta la pieza de trabajo, preparada así para moverse en dos dimensiones. Se pueden operar las máquinas fresadoras tanto manualmente, automáticamente y mediante control numérico.

Es una estructura resistente muy rígida en forma de cajón que contiene el motor de accionamiento y la caja de velocidades. Esta es del tipo de trenes de engranajes intermediarios en el que el accionamiento se realiza con ayuda de un dispositivo más o menos complejo que arrastra el husillo colocado en la parte superior. El montado del husillo presenta similitudes con el del torno. Está montado con dos rodamientos de rodillos cónicos que absorben los esfuerzos axiales, un rodamiento de rodillos cilíndricos colocado atrás o bien, cuando el husillo cilíndricos colocados atrás y que sirve de guía; en la figura 1.2 aparecen representados los principales elemento y mecanismo que por su funcionamiento se les deben realizar acciones de mantenimiento.

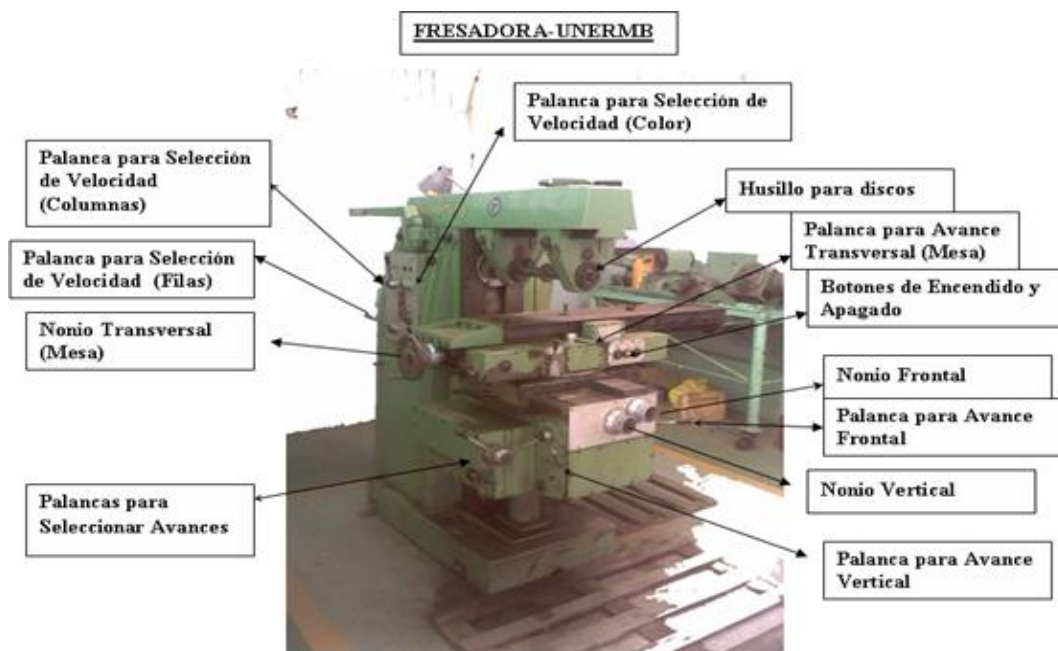


Figura 1.2. Principales elementos y mecanismo de una fresadora vertical.

Delante de la estructura se desplaza verticalmente una ménsula que lleva un carro que se desplaza transversalmente. Este carro sostiene la mesa que se desplaza en sentido longitudinal. Estos movimientos: vertical, transversal y longitudinal se obtienen por tornillos y tuercas y pueden ser manuales o automáticos. Los desplazamientos de la mesa se denominan avances, pueden hacerse a

velocidades muy variables gracias a una caja de engranajes colocada en la ménsula; el movimiento del motor se transmite a la caja por un árbol estriado.

Básicamente en lo que se refiere al mantenimiento lo que se hace es reparación o cambio cuando la fresadora falla por lo que no se cuenta con un stock de repuestos o equipos en la bodega para ser reemplazados, lo que crea problemas en la producción. El mantenimiento preventivo está basado en inspecciones visuales limpieza, engrases y lubricación.

1.3.3. Taladro vertical

Los taladros heredan su nombre por la posición vertical en que se dispone su estructura. Máquina herramienta de una gran utilidad en los procesos de fabricación y reparación de piezas mecánicas en las grandes industrias pues constituye junto con el torno, la fresadora y la rectificadora las herramientas que realizan la mayoría de las operaciones en un taller mecánico.

Su característica principal es la rotación de un husillo vertical en una posición fija y soportada por un bastidor de construcción. En la figura 1.3 se muestran los principales elementos y mecanismo a los cuales se les deben realizar acciones de mantenimiento.

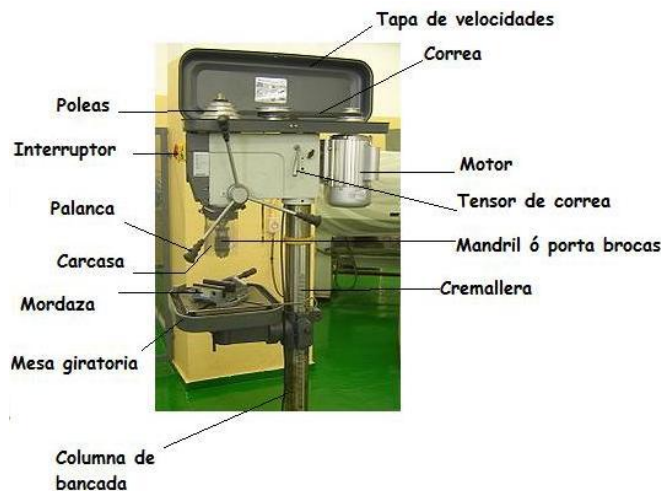


Figura 1.3. Principales elementos y mecanismo de un taladro vertical.

El cuanto al mantenimiento de este equipo por ser una maquina menos compleja que las anteriores ya que su mantenibilidad, la rapidez, facilidad y precisión con que una acción o un plan de mantenimiento puede ser ejecutada es mayor que la

de los equipos anteriores. A pesar de esto en el equipo solo se realiza mantenimiento correctivo.

1.4. Generalidades del mantenimiento de las máquinas de arranque de virutas

El mantenimiento es un como el conjunto de acciones necesarias para mantener un equipo o sistema en estado operativo, realizando las actividades para las cuales fue concebido. La importancia del mantenimiento es conservar todos los bienes involucrados de forma directa o indirecta con el sistema en el mejor estado de funcionamiento, y así garantizar la mejor calidad de producción, las mejores condiciones de seguridad laboral, el mínimo costo y derroche de energía junto a una tasa de confiabilidad elevada de operatividad (Torres, 2009).

De acuerdo a Prando (1996) el mantenimiento constituye un sistema dentro de toda organización industrial cuya función consiste en ajustar, reparar, remplazar o modificar los componentes de una planta industrial para que la misma pueda operar satisfactoriamente en cantidad/calidad durante un período dado, y constituye uno de los modos idóneos para lograr y mantener mejoras en eficiencia, calidad, reducción de costos y de pérdidas, optimizando así la competitividad de las empresas que lo implementan dentro del contexto de la excelencia gerencial y empresarial.

De acuerdo con las normas COVENIN 3049-93 el objetivo del mantenimiento es mantener un Sistema Productivo en forma adecuada de manera que pueda cumplir su misión, para lograr una producción esperada en empresas de producción y una calidad de servicios exigida, en empresas de servicio, a un costo global mínimo.

De igual manera, según Duran (2005) los objetivos del mantenimiento en tres puntos claves:

- Dirigir la división de mantenimiento de manera que se obtengan costos totales mínimos de operación.
- Mantener las instalaciones y equipos en buenas condiciones operacionales.
- Mantener las instalaciones y equipos operando en un porcentaje óptimo del tiempo.

Duffaa *et al.* (2005) plantean que la filosofía del mantenimiento de una planta es básicamente la de tener un nivel mínimo de personal de mantenimiento que sea consistente con la optimización de la producción y disponibilidad de la planta sin que se comprometa la seguridad.

Históricamente el mantenimiento ha evolucionado a través del tiempo, Moubray (1997), desde el punto de vista práctico del mantenimiento, se diferencian enfoques de mejores prácticas aplicadas cada una en épocas determinadas. Para una mejor comprensión de la evolución y desarrollo del mantenimiento desde sus inicios y hasta nuestros días. En la figura 1.4 se recogen las tres generaciones en la que se divide el mantenimiento.



Figura 1.4. Evolución del mantenimiento. Fuente: Moubray (1997).

➤ **Primera generación:**

Cubre el período hasta el final de la II Guerra Mundial, en ésta época las industrias tenían pocas máquinas, eran muy simples, fáciles de reparar y normalmente sobredimensionadas. Los volúmenes de producción eran bajos, por lo que los tiempos de parada no eran importantes. La prevención de fallas en los equipos no era de alta prioridad gerencial y solo se aplicaba el mantenimiento reactivo o de reparación.

➤ **Segunda generación:**

Nació como consecuencia de la guerra, se incorporaron maquinarias más complejas, y el tiempo improductivo comenzó a preocupar ya que se dejaban de percibir ganancias por efectos de demanda, de allí la idea de que los fallos de la maquinaria se podían y debían prevenir, idea que tomaría el nombre de

mantenimiento preventivo. Se comenzaron a implementar sistemas de control y planificación del mantenimiento, o sea las revisiones a intervalos fijos.

➤ **Tercera generación:**

Se inicia a mediados de la década de los setenta donde los cambios, a raíz del avance tecnológico y de nuevas investigaciones, se aceleran. Aumenta la mecanización y la automatización en la industria, se opera con volúmenes de producción más altos, se le da importancia a los tiempos de parada debido a los costos por pérdidas de producción, alcanzan mayor complejidad las maquinarias y aumenta nuestra dependencia de ellas, se exigen productos y servicios de calidad, considerando aspectos de seguridad y medio ambiente y se consolida el desarrollo de mantenimiento preventivo.

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) y el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM). El TPM fue desarrollado por el Japonés Seichi Nakajima y que enfatiza sus principios en la importancia que tiene involucrar al personal de producción y al de mantenimiento en labores de mantenimiento productivo (Villanueva, 2000). Toda esta teoría nace a partir del cambio que se dio en la industria en 1970 cuando se dejó de considerar que el trabajo humano intervenía en la fabricación de productos o prestación de servicios en un 90 % mientras que sólo el 10 % era trabajo que realizaban las máquinas.

Por el contrario, desde entonces se volteó el concepto en el que la máquina proporcionaría el 90 % del trabajo realizado y los operarios el restante, esto obliga a los industriales a pensar de manera más detallada en el incremento de las actividades asociadas a la conservación de sus recursos físicos. Incluso en muchos sectores industriales la conservación de la calidad de sus recursos se convierte en una ventaja competitiva frente a las empresas del sector, dando mejores resultados de calidad en los productos y eficacia en los procesos en unas compañías más que en otras.

1.5. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la

toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual (Duran 2005).

El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componente, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad humana, confiabilidad del proceso, confiabilidad del diseño y la confiabilidad del mantenimiento.

Según Durán (2005), en este análisis se busca hacer una evaluación del riesgo asociado a cada sistema/subsistema de la planta/proceso. Esto permitirá establecer el orden de implementación de los análisis posteriores. La ejecución de este paso es crucial y su no ejecución o estimación, por experiencia ha sido la causa de muchas implantaciones fracasadas.

Para realizar un análisis de criticidad se debe definir un alcance y propósito para el mismo, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas a objeto del análisis.

Durán (2005) señala que este análisis tiene aplicaciones que van más allá de un mero orden de implementación para el MCC, al permitir colocar una puntuación a cada sistema de la planta, proporcional al nivel de importancia del mismo. Además esta información es utilizada también para el establecimiento de prioridades dentro de campos de vital importancia dentro de un proyecto de mejoramiento de confiabilidad operacional y en el día a día operacional, entre los cuales se pueden mencionar: ejecución de mantenimiento preventivo, correctivo y detectivo, paradas de plantas, programas de adiestramiento de personal, planes de inversión de capital y planes de repuestos y materiales tanto en planta como en almacenes centrales.

1.5.1. Principales aspecto teórico para realizar un análisis de criticidad

Los criterios a tomar en cuenta para la elaboración del análisis son los siguientes: frecuencia anual, costos de reparación, impacto en producción, seguridad e impacto ambiental. Tomando en consideración los aspectos antes mencionados, los pasos a seguir en el estudio de criticidad de una planta de cualquier naturaleza

son la identificación de los sistemas a estudiar, selección del personal a entrevistar, informar al personal sobre la importancia del estudio, recolección de datos, verificación y análisis de datos e implementación de resultados.

Huerta (2007) comenta que el objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

Emprender un análisis de criticidad tiene su máxima aplicabilidad cuando se han identificado al menos una de las siguientes necesidades:

- Fijar prioridades en sistemas complejos,
- Administrar recursos escasos,
- Crear valor,
- Determinar impacto en el negocio,
- Aplicar metodologías de confiabilidad operacional.

Plantea Dhillon (2002) y Rodrigo (2004), que el análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos: mantenimiento, inspección, materiales, disponibilidad de planta y de personal.

1.5.2. Información requerida para la elaboración del análisis de criticidad

Autores como Basantes (2004) y Bravo (2005) plantean que mientras mayor sea el número de personas involucradas en el análisis, se tendrán mayores puntos de vista evitando resultados parcializados, además el personal que participa nivela conocimientos y acepta con mayor facilidad los resultados, dado que su opinión fue tomada en cuenta.

Además consideran estos mismos autores que la condición ideal sería disponer de datos estadísticos de los sistemas a evaluar que sean bien precisos, lo cual permitiría cálculos exactos y absolutos. Sin embargo desde el punto de vista

práctico, dado que pocas veces se dispone de una data histórica de excelente calidad, el análisis de criticidad permite trabajar en rangos, es decir, establecer cuál sería la condición más favorable, así como la condición menos favorable de cada uno de los criterios a evaluar. La información requerida para el análisis siempre estará referida con la frecuencia de fallas y sus consecuencias.

Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata de cumplir con la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis.

1.6. Caracterización del modo y efecto de fallas y criticidad

Según Duran (2007) y Querales y Yary (2000), el análisis de modos, efectos de fallas y criticidad (FMECA), es una herramienta de análisis sistemático que permite describir el comportamiento de un sistema de manera inductiva, yendo de lo particular a lo general. En el análisis FMECA se listan, para cada equipo, los posibles modos de fallas, sus efectos y nivel crítico que estas fallas tendrán en el sistema en su conjunto. Las causas de fallas pueden incluirse también.

En este mismo orden Durán (2005), afirma que el análisis FMECA, está diseñado para empresas de procesos en líneas generales muy grandes, donde la aplicación del análisis de modos y efectos de fallas (FMEA) y la posterior selección de tareas de mantenimiento, se ha convertido en una barrera entorpecedora en la implantación del MCC. El FMECA establece un orden de importancia para cada modo y causa de falla. Observa en detalle las causas de falla y establece de inmediato las estrategias de mantenimiento para cada causa de falla.

La ventaja de este proceso (análisis FMECA), es la capacidad que aporta para considerar las posibilidades de fallas, tanto las que han ocurrido como aquellas que no se han presentado en la práctica, pero que pudieran ocurrir; para así poder establecer medidas preventivas y de gerencia políticas efectivas que eviten o mitiguen las consecuencias de las fallas. Un FMECA funcional se basa en la estructura funcional del sistema en lugar de los componentes físicos que lo componen, permitiendo un avance rápido y firme (Sotillo, 2000; Contreras 2001).

Para la norma Covenin venezolana 3049-93 una falla es un evento no previsible, inherente a los sistemas productivos que impide que esto cumpla funciones bajo condiciones establecidas o que no las cumplan (Covenin 3049-93).

Según Nava (1999), se entiende por falla la ocurrencia que origina la terminación de la capacidad de un equipo para realizar su función en condición adecuada o para dejar de realizarla en su totalidad. Se distinguen cuatro tipos de fallas según su efecto sobre el comportamiento del sistema.

La figura 1.5 clasifica las fallas de acuerdo a la Norma Covenin 3049-93, norma establecida en Venezuela para este tipo de evento.

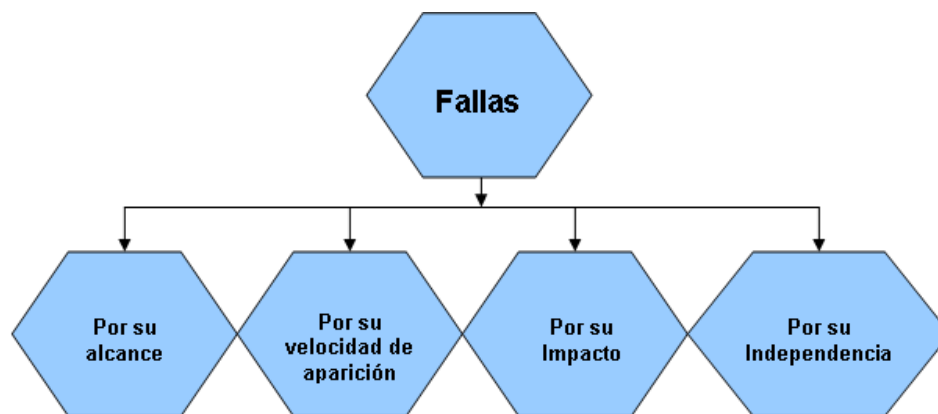


Figura 1.5. Diagrama de Fallas. Fuente: La Rosa, Suárez (2006).

➤ **Por su alcance**

- Parcial: Es aquella que origina desviaciones en la características de funcionamiento de un SP, fuera de límites especificados pero no la incapacidad total para cumplir su función.
- Total: es aquella que origina desviaciones o pérdidas de las características de funcionamiento de un SP, tal que produce incapacidad para cumplir su función.

➤ **Por su velocidad de aparición**

- Progresiva: es aquella en la que se observa la degradación de funcionamiento de un SP y puede ser determinada por un examen anterior de las características del mismo.
- Intermitente: Es aquella que se presenta alternativamente por lapso limitados.

- Súbita: Es la que ocurre instantáneamente y no puede ser prevista por un examen anterior de las características del SP.

➤ **Por su impacto**

- Menor: Es aquella que no afecta los objetivos de producción o de servicio.
- Mayor: Es aquella que afecta parcialmente los objetivos de producción o de servicio.
- Crítica: Es aquella que afecta totalmente los objetivos de producción o de servicio.

➤ **Por su independencia**

- Independiente: Son fallas del SP cuyas causas son inherentes al mismo.
- Dependiente: Son fallas del SP cuyo origen es atribuible a una causa externa.

Para Parra (2005) y Marshall (2006) el análisis FMECA debe basarse en la experiencia y conocimientos de operadores y mantenedores, reporte de análisis de fallas y acciones correctivas, archivos de trabajos realizados, datos de ingeniería, datos de construcción. Este análisis debe ser ejecutado por el equipo de trabajo. La falla define la función que se desea que el equipo cumpla y ha sido perdida.

Cada modo de falla debe ser evaluado respecto a sus efectos, no solo a su nivel, sino que se deben observar sus efectos a un nivel inmediato superior, es recomendable observar sobre dos niveles superiores, de esta manera se puede estar seguro del verdadero impacto de una falla funcional.

El AMEF es una metodología de análisis sistemático que permite describir y estudiar las fallas de los componentes de un sistema de manera inductiva, partiendo de lo particular a lo general, causado por procesos deficientes de diseño, de manufactura o ensamble. También identifica las características críticas o significantes de un diseño, procesos o sistemas que requieren de controles especiales para prevenir o detectar los modos de fallas. El AMEF es una herramienta utilizada para impedir que los problemas ocurran (Dounce, 1982).

Se usa fundamentalmente en los equipos, analiza las consecuencias de todas las posibles fallas que puedan afectar a un componente dentro del sistema, identifica

los tipos de fallas que tienen consecuencias importantes y determina los medios de detección para cada tipo de falla. Ejemplos típicos son instrumentos como: transmisores, controladores, válvulas, bombas, compresores, transmisiones, diferenciales, motores, mandos finales (Creús, 1991).

Según CIED (1999), la identificación prematura de todos los modos de fallas del sistema dentro de un diseño permite, eliminar o minimizar las consecuencias de las fallas a través de la corrección en el diseño antes de que puedan ocurrir. Al identificar los modos de fallas tempranamente durante el diseño, se reduce el tiempo de desarrollo, costo y soporte integrado para el desarrollo del producto.

Por otro lado Mosquera-Castellanos, (1993) que además de identificar los modos de falla, el AMEF comprende desde las consecuencias hasta las causas mediante la cual cada componente individual es analizado para determinar si existe un riesgo potencial. Esta técnica genera recomendaciones que incrementan la confiabilidad de los equipos y la seguridad de los procesos.

Plantea Díaz (1992) que en un análisis típico de AMEF se listan, para cada equipo, los posibles modos de falla y los efectos que estos modos de fallas tendrán sobre el sistema. Las causas de falla pueden incluirse también.

1.7. Causas que impactan el mantenimiento

Rincón (2003) a través de su investigación establece cuatro hipótesis que ayudaron a definir las aplicaciones, los beneficios, la selección y conveniencia de la utilización de dos de estas técnicas, el Árbol de Fallas (FTA) y el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (FMEA) en la toma de decisiones gerenciales. Para ello, se seleccionó una muestra de once casos prácticos.

Como resultado, se concluyó que la identificación de los modos de fallas facilita la creación de órdenes de trabajo, la planificación del mantenimiento, el registro del historial de fallas y la gestión de los mantenedores y operadores de la industria. El FTA y el FMEA, son útiles en la optimización, planificación y ejecución de planes de mantenimiento, constituyendo herramientas complementarias que facilitan la ejecución y aplicación de otras técnicas de análisis de riesgo. El FMEA facilita la

realización del FTA, complementándolo, sin embargo, no se requiere la realización previa del primero para desarrollar el segundo.

Según Smith (2005) los parámetros de mantenimiento son: la confiabilidad, la mantenibilidad, la disponibilidad. Estos se relacionan con el comportamiento del equipo de la siguiente forma: la confiabilidad se obtiene en base a los equipos de operación, la mantenibilidad se calcula con los tiempos fuera de servicio del sistema y la disponibilidad es un parámetro que se estima a partir de los dos anteriores. La figura 1.6, muestra cómo interactúan los mismos. Mejorar forma de referencia de la figura y mejorar la calidad de la imagen.

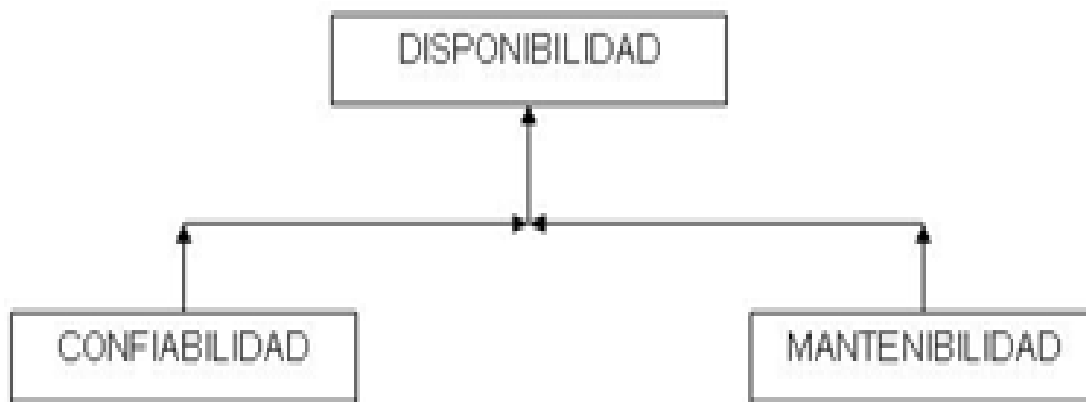


Figura 1.6. Diagrama de los parámetros de mantenimiento. Fuentes: Palma y Nieves (2010)

1.8. Período de vida de un equipo o sistemas de equipos

Por lo general, los equipos o sistemas de equipos durante su ciclo de vida, desde su puesta en servicio hasta su eliminación o disposición, pasan por tres períodos muy bien definidos y caracterizados, cada uno de ellos, en función a una tasa temporal de fallas determinada. Estas tres etapas se pueden observar en la llamada curva de la bañera como se muestra en la figura 1.7, junto con sus características principales. Dichas etapas son el período de arranque, el período de vida útil y el período de envejecimiento rápido.

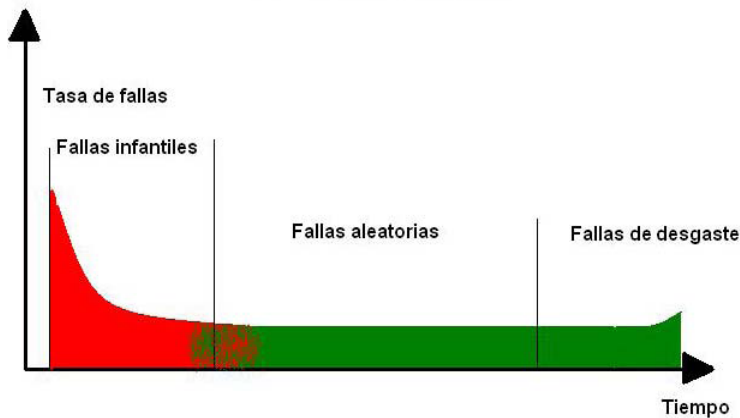


Figura 1.7. Curva de la bañera para un equipo mecánico.

Como se puede observar en la figura anterior, el período de arranque está comprendido en un lapso de funcionamiento entre el arranque y la finalización del ajuste del mismo, o etapa de corrección de defectos de diseño, de fabricación, de montaje e instalación del equipo (Infancia). Este período se caracteriza por presentar una tasa de fallas en descenso a medida que transcurre el tiempo.

Debido a que los defectos que se presentan en los equipos en este período, tienen que ver con defectos de fabricación, su corrección y consecuencia suelen estar cubiertas por la garantía dada por el fabricante al comprador del producto.

1.8.1. Período de vida útil

Este período de tiempo también es conocido como período de operación normal del equipo. El inicio de esta etapa coincide con el final del arranque, siendo su característica principal la presencia de una tasa de falla constante. Durante este Período de Vida Útil el equipo posee la máxima disponibilidad, es decir, durante este tiempo es cuando se espera que el equipo cumpla con la mayoría de sus funciones.

Es importante aclarar que si se tienen diferentes equipos cumpliendo la misma función, estos presentarán tasa de falla diferente durante el Período de Vida Útil. Entre las características más relevantes de esta etapa se puede nombrar que cubre la mayor parte de la vida del equipo, la tasa de falla es constante y las fallas ocurren totalmente al azar, por lo que no se puede predecir.

1.8.2. Período de envejecimiento rápido

Este período también es conocido como período de desgaste, y se inicia con un aumento progresivo de la tasa de fallas, como consecuencia del proceso de deterioro físico propio del uso, tal como desgaste, fatiga, corrosión, entre otros. Cuando un equipo se encuentra en este Período de Envejecimiento Rápido, puede ser sometido a una operación de reconstrucción la cual puede extender la vida útil de equipo aumentando la rentabilidad de la inversión.

También es probable que el equipo haya llegado al momento en que no sea económicamente viable mantenerlo, por lo que se suelen tomar decisiones como reemplazo o la ejecución de mantenimientos mayores capaces de devolverle sus condiciones operativas normales. Lo único que aprobará la reconstrucción de un equipo, deberá ser un estudio económico que confirme si la extensión de vida útil que se pueda obtener con la misma, sea rentable o no.

1.8.3. Probabilidad de falla

Huggett (2000) y Trejo (2002) lo definen como la probabilidad de ocurrencia de un evento, en función del número de veces que ha ocurrido en un sistema o proceso en un determinado periodo.

La representación gráfica de la probabilidad condicional de falla contra la vida útil de los equipos da origen a diferentes modelos de fallas que serán representativos para una gran variedad de equipos eléctricos y mecánicos, tal como se observa en la figura 1.8.

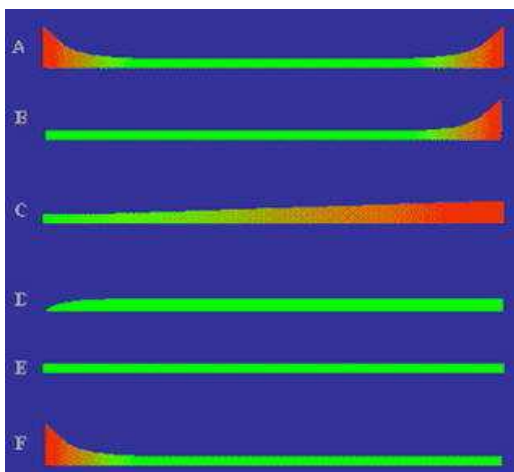


Figura 1.8. Patrones de probabilidad de falla.

El modelo A es conocido como la curva de la bañera. Comienza con un período de mortalidad infantil que tiene una incidencia de falla alta que va decreciendo a medida que transcurre el tiempo, la frecuencia de falla disminuye hasta llegar a estabilizarse en un índice aproximadamente constante. Luego comienza el período de operación normal (falla aleatoria) donde el índice de fallas permanece aproximadamente constante y éstas pueden ocurrir en cualquier edad. Por último, ocurre el período de desgaste (falla por edad) que se caracteriza porque el índice de fallas aumenta a medida que transcurre el tiempo.

El modelo B es la llamada curva de la falla tradicional, donde el índice de fallas aumenta a medida que transcurre el tiempo.

El modelo C se diferencia de los modelos A y B en que registra un deterioro constante desde el principio, con una probabilidad de falla que aumenta con el uso. El modelo D corresponde a un elemento cuya probabilidad de falla es baja cuando es nuevo, luego ocurre un incremento rápido de falla seguido de un comportamiento aleatorio.

El modelo E representa un elemento que tiene la misma probabilidad de falla en cualquier momento y muestra que no hay relación entre la edad funcional de los equipos y la probabilidad de que fallen.

El modelo F es la llamada curva de la "J invertida", y combina la mortalidad infantil muy alta con nivel constante de falla luego de esta dificultad inicial.

Los modelos A, B y C están asociados al envejecimiento y en el punto de desgaste definitivo se produce un incremento rápido de la probabilidad de fallas. Las características de desgaste definitivo ocurren más a menudo en los equipos que están en contacto directo con el producto; en general estos modelos son aplicados a equipos sencillos.

Los modelos D, E y F no están asociados al envejecimiento y se caracterizan porque después de un período inicial, la relación entre confiabilidad y la edad operacional es mínima o nula; estos modelos son típicos de los equipos de electrónica, hidráulica y neumática.

1.9. Conclusiones del capítulo 1

El análisis de las bibliografías consultadas permitió

- Se han realizados análisis de estudio del mantenimiento a equipos como los tornos, pero no están actualizada con los avances tecnológicos y el mantenimiento avanzado de las referencias que aborden el estudio del mantenimiento por fallas y el mantenimiento por criticidad a otros equipos de arranque de virutas.
- Se busca finalmente promover y aplicar una efectiva programación del mantenimiento en la cual se ejecuten acciones que garanticen el funcionamiento satisfactorio e incrementar la disponibilidad de las maquinas través del establecimiento del plan de mantenimiento avanzado.

CAPÍTULO. 2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Introducción

Los equipos luego de un periodo de funcionamiento empiezan a presentar fallas bien sea por no haberse dado mantenimiento, por hechos fortuitos, o por demasiado tiempo de uso. Las fallas pueden deberse al último factor mencionado, la edad del equipo. Y que al tener muchas horas de operación pueden presentarse gran cantidad de fallas funcionales afectando así la productividad y eficiencia del equipo. (Zambrano 2006).

Por estas razones es importante el establecimiento del mantenimiento avanzado en las máquinas herramienta de la empresa, el cual tienen como objetivo principal conservar y mantener todas las maquinas, equipos y servicios, a fin de minimizar las fallas imprevistas, incrementando así la productividad y disminuyendo costos, en un ambiente seguro para los operarios y contribuyendo al mejoramiento de la eficiencia de la empresa.

En el capítulo se plantea como objetivo desarrollar la metodología para el establecimiento del mantenimiento avanzado en las máquinas herramientas con arranque de virutas de la cooperativa Torfrecol R.S.

2.2. Caracterización de los equipos de la empresa torfrecol r.s

Una de las etapas que se debe cumplir para elaborar y poner en acción un plan de mantenimiento preventivo es codificar los equipos de una empresa. En la tabla 2.1 se presenta el inventario de máquinas herramientas con arranque de virutas los cuales se encuentran operativos y a los cuales se les realizara el estudio de análisis y efectos de falla (AMEF) y el análisis de criticidad.

Tabla 2.1. Inventario de equipos.

Código	Descripción	Marca	Tipo	Condición Actual
TC - 01	Torno	TOS TRENCIN	SN - 50	Operativo
TC - 02	Torno	TOS TRENCIN	SN - 50	Operativo
TC - 03	Torno	TOS TRENCIN	SN - 40	Operativo
FR - 01	Fresadora N° 5	CINCINNATI	802747	Operativo
TA - 01	Taladro de pedestal	AVERMANS		Operativo

2.3. Fichas técnicas de los equipos de arranque de viruta

Las fichas técnicas son documentos básicos y fundamentales que resumen las características originales de cada equipo, datos operativos, componentes, y contiene la siguiente

Información: tipo de máquina, datos específicos físicos (modelo, tipo) y tecnológicos (parámetros operativos). Las fichas técnicas mostradas a continuación están clasificadas por equipos, el resto de las fichas se muestran en el anexo 1.

Torno Paralelo		 
Datos de identificación		
Máquina	Torno horizontal	
Número de Inventario	TC - 01	
Marca	TRENS TRENCIN	
Datos técnicos		
Voltaje de Operación	220 V	
Motor Eléctrico	7,5 KW	
Potencia del Motor	220 v	
Gama de Velocidades	10 a 1000 r.p.m	
Capacidad entre Puntos	2000 mm	
Diametro de torneado	500 mm	
Accesorios		
Mandril auto-centrante con tres muelas para exteriores y tres muelas para interiores		
Brida de montaje para mandril auto-centrante.		
Punto fijo con cono Morse		
Características		

Figura 2.1. Características de diseño del Torno TC - 01.

Fresadora Vertical		 
Datos de identificación		
Máquina	Fresadora Vertical	
Número de Inventario	FR - 01	
Marca	Cincinnati	
Datos técnicos		
Voltaje de Operación	220 V	
Motor Eléctrico	7,5 KW	
Potencia del Motor	220 v	
Gama de Velocidades	10 a 1000 r.p.m	
Longitud de la mesa	1500 mm	
Altura	400 mm	
Accesorios		
Sistema de refrigeración .		

Figura 2.2. Características de diseño de la Fresa FR – 01

Taladro de Pedestal		
Datos de identificación		
Máquina	Taladro de Pedestal	
Número de Inventario	TA - 01	
Marca	AVERMANS	
Datos técnicos		
Voltaje de Operación	110 V	
Motor Eléctrico	1 KW	
Potencia del Motor	110 v	
Gama de Velocidades	230 a 2000 r.p.m	
Longitud de la mesa	400 x 480 mm	
Distancia Husillo a base	1280 mm	



Figura 2.3. Características de diseño del taladro TA - 01

El plan de mantenimiento avanzado para los equipos tiene una serie de actividades de diferente índole (mecánica, eléctrica, lubricación) previamente establecidos a realizar. Las variables del proceso para el establecimiento del mantenimiento aparecen en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Variables para el proceso de mantenimiento

Objetivo	Variab les	Sub variables	Indicadores
Diagnosticar la Situación Actual del Mantenimiento que se realiza a los equipos de arranque de virutas de la empresa torfrecol r.s	Plan de mto	Situación actual	- Lista de chequeo de la Norma COVENIN 2500-93 -Organización, objetivos, planeación y tipos de Mto. - Disponibilidad - Indisponibilidad
Elaborar el Análisis Funcional, a fin de identificar el equipo que realiza el trabajo de mecanizado.		Análisis funcional	- Materia Prima - Servicios - Controles - Funciones - Productos primarios - Desechos
Determinar los sistemas más críticos que conforman los equipos de arranque de virutas, con el objetivo de establecer el orden de prioridad e implementación de la metodología del mto centrado en la falla y la criticidad.		Análisis de criticidad	- Frecuencia de falla - Producción diferida - Costos de reparación - Ambiente y seguridad - Tiempo promedio por operación
Elaborar el Análisis de Modos y Efectos de Fallas y Criticidad (FMECA), con el propósito de definir los Modos de Falla que afectan los diferentes sistemas de los equipos de arranque de virutas, con sus respectivas causas y Consecuencias.		Análisis de Modos y Efectos de Falla y Criticidad (FMECA)	- Requerimientos y Normas Operacionales - Fallas funcionales - Modos de falla - Efectos de falla - Consecuencia de Falla
Establecer Estrategias de Mantenimiento para los Sistemas los equipos de arranque de virutas, basadas en la Metodología del Mantenimiento Centrado en la falla y la criticidad con el propósito de alcanzar el nivel de disponibilidad y confiabilidad requerida por la empresa.		Estrategias de mantenimiento	-Operacionales -Organizacionales -Inventarios -Suministros de repuestos -Tiempos

Según lo expuesto en la tabla 2.2, se pueden establecer las siguientes observaciones:

- El diagnóstico preliminar permitirá determinar la situación actual del mantenimiento preventivo de los tornos convencionales en el.
- La evaluación de partes y componentes de los equipos nos permitirá la evaluar la existencia de planes, programas y procesos de control de mantenimiento preventivo de los tornos convencionales en el taller.
- Sera necesario analizar el registro de fallas de partes y componentes de los equipo, para realizar el estudio de criticidad y la el análisis de modo y efecto de fallas.
- Incrementar disponibilidad significa reducir las horas de detención por eventos de mantenimiento, especialmente los no programados (fallas electromecánicas).
- Incrementar utilización significa reducir horas de detención por eventos de responsabilidad de operaciones, especialmente las demoras no programadas.

2.4. Ciclo de mantenimiento

El ciclo de mantenimiento es la cantidad y secuencia de los diferentes servicios de mantenimiento que se llevan a cabo en un equipo entre dos reparaciones generales, o entre la puesta en marcha y la primera reparación general, en caso de ser un equipo recién instalado. Esto constituye la parte más importante del mantenimiento preventivo.

Para obtener el ciclo de mantenimiento es necesario conocer el tiempo entre dos servicios consecutivos y entre dos reparaciones. Para ello pueden utilizarse los siguientes criterios:

Periodo entre reparaciones. Se denomina al periodo de trabajo del equipo expresado en horas-máquinas entre dos reparaciones planificadas.

$$T_r = \frac{T}{NP+NM+1} \quad (2.1)$$

Periodo entre intervenciones. Se denomina al periodo de tiempo de trabajo del equipo entre dos intervenciones; o sea, entre dos revisiones inmediatas o entre una reparación y una revisión. Para el cálculo de la duración entre intervenciones se utiliza la fórmula:

$$T_0 = \frac{T}{NR+NP+NM+1} \quad (2.2)$$

Donde:

Tr: Tiempo entre dos reparaciones; [horas-máquinas]

To: Tiempo entre dos servicios de mantenimiento cualesquiera; [horas-máquinas]

T: Duración del ciclo en horas; [horas-máquinas]

NR: Cantidad de revisiones

NP: Cantidad de reparaciones pequeñas

NM: Cantidad de reparaciones medianas.

Durante las intervenciones que se realizan en el mantenimiento preventivo planificado de los equipos estos no se mantienen en funcionamiento, por lo que sale del ciclo productivo mientras se acometen actividades que permitan retribuir su capacidad de trabajo. Las acciones que se planifican en el ciclo de reparación están destinadas a mantener el equipo en buen estado. Las actividades que se acometen en cada intervención están reflejadas en el anexo 2.

2.5. Cálculo de la distribución de probabilidades

Una distribución de probabilidad describe la probabilidad de que un evento se realice en el futuro, constituye una herramienta fundamental para la prospectiva, puesto que se puede diseñar un escenario de acontecimientos futuros considerando las tendencias actuales de diversos fenómenos naturales.

Variable aleatoria: Cantidad que es resultado de un experimento y debido al azar, puede tomar valores diferentes.

Variable aleatoria discreta: Toma valores claramente separados, generalmente se produce por conteo.

Variable aleatoria continua: Cantidades que toman infinitos valores, dentro de un rango permitido, generándose una distribución de probabilidades continuas.

Media de una distribución de probabilidades. Valor promedio a largo plazo de la variable aleatoria, también es conocido como valor esperado. Esta media es un promedio ponderado, en el que los valores posibles se ponderan mediante sus probabilidades correspondientes de ocurrencia, se calcula según Plucknette (2002).

$$\mu = \sum XP(X) \quad (2.3)$$

Donde $P(X)$ es la probabilidad que puede tomar la variable aleatoria X .

Varianza.- Mide el grado de dispersión de la distribución de probabilidades, se determina como:

$$\sigma = \sum (X - \mu)^2 P(X) \quad (2.4)$$

Adecuando los términos se calcula a partir de:

$$\sigma = \sum (X - \mu)^2 P(X) \quad (2.5)$$

Se determina la desviación estándar que no es más que la raíz cuadrada de la varianza a partir de la ecuación 2.9.

$$\sqrt{\sigma^2} = \sigma \sqrt{\sum XP(X) - \mu^2} \quad (2.6)$$

2.5.1. Cálculo de la distribución de probabilidades binomial

Esta distribución es la que mejor se ajusta a la distribución de probabilidades de variable discreta. Si lanzamos dos monedas al aire, se tiene el siguiente espacio muestral.

$$\Omega = \{CC, CS, SC, SS\} \quad (2.7)$$

$$\eta(\Omega) = 4 \quad (2.8)$$

Si p es la probabilidad de obtener una cara (c) y q la probabilidad; entonces $p = q = \frac{1}{2}$; luego:

$$pp = p^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4} \quad (2.9)$$

$$qq = q^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4} \quad (2.10)$$

$$2pq = 2\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{2}\right) = 2\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{2}{4} \quad (2.11)$$

Con el binomio de Newton deducimos lo siguiente:

$$(p + q)^n = \sum_{x=0}^n C_x^n p^x q^{n-x} \quad (2.12)$$

Luego la distribución de probabilidad binomial está dada por:

$$p(X = x) = C_x^n p^x q^{n-x} = C_x^n p^x (1 - p)^{n-x} \quad (2.13)$$

Donde:

p - probabilidad de éxito de cada ensayo.

n - número de ensayos.

x - número de éxitos.

Si $p = q = \frac{1}{2}$, el histograma de las distribuciones binomiales son simétricas.

$$\sum_{x=0}^n P(X_x) = 1 \quad (2.14)$$

Si el experimento se repite r veces con n ensayos; entonces se tiene:

$$r(p + q)^n = \sum_{x=0}^n C_x^n P^x q^{n-x} = \sum_{x=0}^n r C_x^n p^x q^{n-x} \quad (2.15)$$

Luego se deduce que:

$$P(X = x) = r C_x^n p^x (1 - p)^{n-x} \quad (2.16)$$

2.5.2. Media de la distribución binomial

Esta dada por.

$$\mu = np$$

Entonces la distribución de probabilidad acumulada se aplica para las distribuciones binomiales como se observa en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Distribución de probabilidad acumulada.

Variable aleatoria X	P = 0,60 probabilidades
0	0,004
1	0,0037
2	0,0138
3	0,276
4	0,311

Entonces a partir de la probabilidad acumulada se determina

$$P(x \leq 2) = P(x=0) + P(x=1) + P(x=2) \quad (2.17)$$

2.5.3. Distribución de probabilidad hipergeométrica

Esta distribución se aplica cuando el muestreo se realiza sin repetición y la probabilidad de éxito no permanece constante de un ensayo a otros, se calcula mediante la ecuación 2.18.

$$P(x) = \frac{C_x^5 C_{n-x}^{N-5}}{C_n^N} \quad (2.18)$$

Donde:

N - tamaño de la población

S - cantidad de éxitos en la población

X - número de éxitos en la muestra

n - tamaño de la muestra

$n \geq 0,05N$

2.5.4. Distribución de probabilidad de Poisson

Describe la cantidad de veces que ocurre un evento en un intervalo determinado (tiempo, volumen, temperatura). La distribución se basa en dos supuestos:

1. La probabilidad es proporcional a la extensión del intervalo.
2. Los intervalos son independientes.

Esta distribución es una forma límite de la distribución binomial, cuando la probabilidad de éxito es bien pequeña y n es grande, a esta distribución se llama "Ley de eventos improbables", lo cual significa que la probabilidad de p es bien pequeña. La probabilidad de Poisson es una probabilidad discreta; puesto que se forma por conteo y se determina por la ecuación 2.19.

$$P(x) = \lim_{x \rightarrow \infty} C_x^n p^x (1-p)^{n-x} \quad (2.19)$$

$$P(x) = \frac{\mu^x e^{-\mu}}{x!} \quad (2.20)$$

Donde:

μ - media del número de ocurrencias

ε - constante de Euler

x - número de ocurrencias

También está involucrada en el problema de estimar la media de una población normalmente distribuida y en el problema de estimar la pendiente de una recta de regresión lineal, a través de su papel en la distribución t de Student, y participa en todos los problemas de análisis de varianza, por su papel en la distribución F de Snedecor, que es la distribución del cociente de dos variables aleatorias independientes con distribución χ^2 .

La disponibilidad se define como la proporción de tiempo que un equipo se encuentra apto para cumplir su misión, en condiciones dadas, respecto al tiempo que debió haber cumplido su misión y no lo hizo. Formalmente la disponibilidad puede expresarse por la ecuación siguiente, según Díaz (1992).

$$D = \frac{TPEF}{TPEF + TPPR} \quad (2.21)$$

Donde:

TPEF - tiempo promedio entre fallas.

TPPR - tiempo promedio para reparar.

Díaz (1992) afirma que la disponibilidad es una función de la confiabilidad y de la mantenibilidad.

Como el tiempo promedio entre falla (*TPEF*) indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla y que mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo, entonces el tiempo de tiempo promedio entre falla se calcula con la ecuación siguiente.

$$TPEF = \frac{\text{Total de horas operables}}{\text{Número de corridas}} \quad (2.22)$$

Si el equipo no ha fallado es porque está operando adecuadamente, es decir que la probabilidad de supervivencia es complemento de la probabilidad de falle. Entonces esto permite determinar la probabilidad de supervivencia ($PS_{(t)}$) se determina como.

$$PS_{(t)} = 1 - Pt_{(t)} \quad (2.23)$$

Para efectos de confiabilidad, la rata de falla se define como la probabilidad casi inmediata de falla de un componente o un equipo al llegar a "t," horas de operación. Estadísticamente la rata de falla se define como:

$$R_{(t)} = \frac{P_{(t)}}{PS_{(t)}} \quad (2.24)$$

La disponibilidad es la probabilidad de que el equipo se encuentre en condiciones de cumplir su función en un instante cualquiera, según Nava (1995) se determina.

$$D = \frac{TPEF}{TPEF + TPFS} \quad (2.25)$$

Donde:

TPEF - tiempo promedio entre falla

TPFS - tiempo promedio fuera de servicio

El tiempo promedio entre fallas indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla. Mientras mayor sea su valor, mayor será la confiabilidad del los componentes o el equipo. Matemáticamente es la relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado:

$$TMEF = \frac{NOIT \cdot HROP}{\sum NTMC} \quad (2.26)$$

2.5.5. Distribución Weibull

Canavaro (1994) demostró que la distribución de Weibull fue establecida con base en una evidencia empírica, que el esfuerzo al que se someten los materiales puede

modelarse de manera adecuada mediante el empleo de esta distribución. En los últimos 25 años esta distribución se emplea como modelo para situaciones del tipo tiempo-falla y con el objetivo de lograr una amplia variedad de componentes mecánicos.

También describe de manera adecuada los tiempos de falla de los componentes cuando sus razones de falla crecen o decrecen con el tiempo. Esta distribución permite identificar en que zona de la curva de la bañera se encuentra un equipo mediante el valor que se obtenga del parámetro de forma β ; en nuestro estudio se procedió a utilizar el software estadísticos SPSS y el programa en línea www.weibull.com para hallar β .

La distribución de Weibull y su función se ajusta a la ecuación de González (2003).

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{((t-t_0))^\beta}{\eta}} \quad (2.27)$$

Donde:

$F(t)$ - tasa de fallas

t - variable de duración, que según el contexto y servicio se trate, será de tiempo de uso, horas de trabajo, ciclos de trabajo.

β - parámetro de forma que siempre es mayor que 0,69

t_0 - valor en x inicial (tercer parámetro de Weibull)

e - base de los logaritmos naturales = 2,718281.....

η - vida característica

Para conocer la confiabilidad actual del equipo, se emplea la ecuación siguiente:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.28)$$

En esta ecuación las variables son las mismas descritas para la formula anterior, excepto que la confiabilidad está representada por $R(t)$.

El valor del parámetro de forma β , cuyo valor se puede obtener al graficar los datos; sin embargo, se ha establecido la ecuación 2.29 (Duffuaa *et al.*, 2007).

$$\beta = \frac{n \sum L_n T_i L_n \left\{ L_n \left[\frac{1}{R(t_i)} \right] \right\} - \sum L_n T_i L_n \left\{ L_n \left[\frac{1}{R(t_i)} \right] \right\}}{n (\sum L_n T_i)^2 - (\sum L_n T_i)^2} \quad (2.29)$$

Donde:

n - número de datos presentes;

T_i - tiempo entre fallas; (h)

$R(t_i)$ - confiabilidad de la maquinaria para cada T_i .

El empleo de esta ecuación arrojará un valor muy aproximado de β para el cálculo de la confiabilidad actual.

Siendo la función densidad de probabilidad.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.30)$$

La tasa de fallos para esta distribución sería.

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (2.31)$$

Las ecuaciones (2.27, 2.30 y 2.31), sólo se aplican para valores de $(t - t_0) \geq 0$. Para valores de $(t - t_0) < 0$, las funciones de densidad y la tasa de fallos valen 0. Las constantes que aparecen en las expresiones anteriores tienen una interpretación física:

- t_0 es el parámetro de posición (unidad de tiempos) o vida mínima y define el punto de partida u origen de la distribución.

- h es el parámetro de escala, extensión de la distribución a lo largo, del eje de los tiempos. Cuando $(t - t_0) = h$ la fiabilidad viene dada por:

$$R(t) = \exp(-(1)\beta) = \frac{1}{\exp 1\beta} = \frac{1}{2,718} = 0,368(36,8\%). \quad (2.32)$$

Entonces la constante representa también el tiempo, medido a partir de $t_0 = 0$, según lo cual dado que $F(t) = 1 - 0,368 = 0,632$, el 63,2 % de la población se espera que falle, cualquiera que sea el valor de β ya que como hemos visto su valor no influye en los cálculos realizados. Por esta razón también se le llama usualmente vida característica.

- β es el parámetro de forma y representa la pendiente de la recta describiendo el grado de variación de la tasa de fallos.

Para evaluar cada uno de estos parámetros se utiliza una guía de ponderación. Luego de tener la puntuación de cada parámetro, se utiliza la ecuación de criticidad que viene expresada según Huerta (2005) como:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \cdot \text{consecuencia} \quad (2.33)$$

Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presentan el sistema o proceso evaluado y la consecuencia está referida a los costos de reparación, impacto en producción, seguridad e impacto ambiental.

2.6. Procedimiento para realizar el AMEF

Una lista de los modos de fallas (abierto, cerrado, fugando, ruptura) debe generarse y aplicarse a los distintos componentes del sistema. Los efectos de los modos de fallas son determinados por las respuestas del sistema a las fallas. Los modos y efectos de las fallas son tabulados raramente por las consecuencias analizadas.

A continuación se presentan los pasos para llevar a cabo el AMEF en la presente investigación.

1. Identificar y listar todos los elementos del equipo (de proceso y de control) dentro de una sección del proceso en la planta.
2. Definir el funcionamiento de cada elemento del equipo.
3. Definir las fallas posibles del equipo o del componente.
4. Definir las consecuencias de las fallas definidas en el paso N° 3.

5. Establecer si las fallas definidas en (3) y las consecuencias definidas en (4) afectan a otros elementos del equipo aparte del que se esté considerando. En caso afirmativo debe trasladarse la parte del análisis correspondiente al elemento receptor de la influencia, para determinar consecuencias sobre el mismo.
6. Discernir y recomendar medidas preventivas, viables que eviten las fallas definidas en (3), que sean significativos a efectos de seguridad.
7. Registro escrito (informe del análisis).
8. Repetir del 1 al 7 para todas las secciones de los procesos.

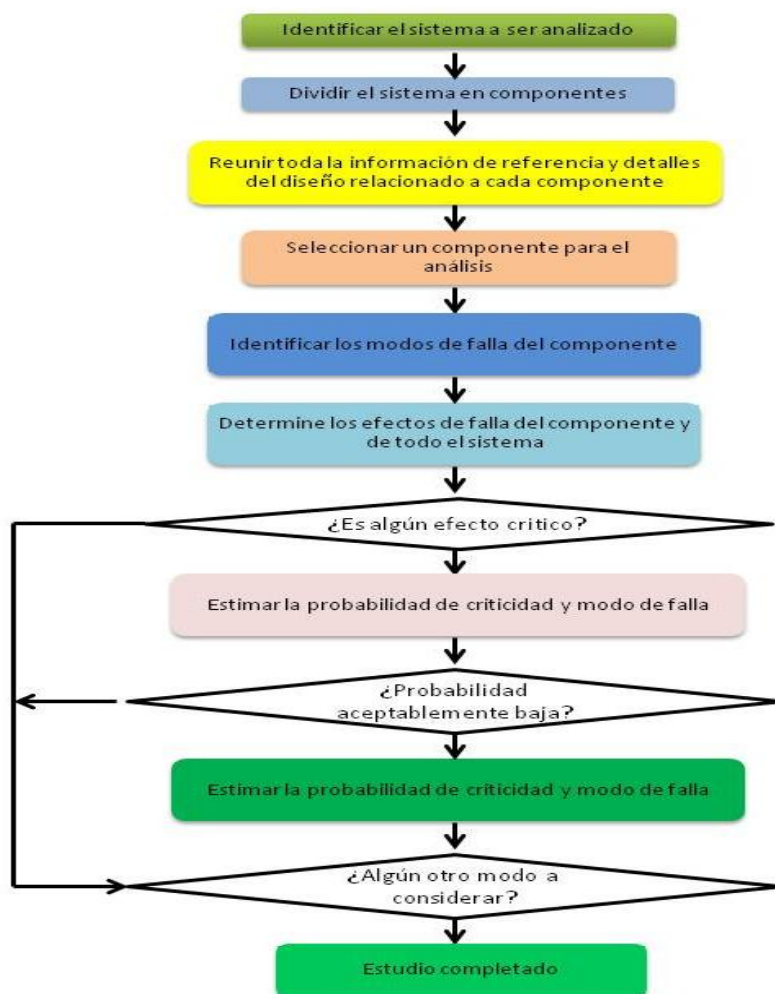


Figura 2.4. Procedimiento para llevar a cabo el estudio AMEF de las maquinas herramientas.

La figura 2.4 muestra el diagrama a seguir para establecer el mantenimiento por falla y el mantenimiento por criticidad en las maquinas herramientas. La figura

anterior muestra el procedimiento para llevar a cabo el estudio AMEF de las maquinas herramientas con arranque de virutas. Se seleccionó este tipo de mantenimiento ya que el mismo tiene aplicación en distintas etapas de un proyecto, las cuales corresponden a la de ingeniería básica, ingeniería de detalles, arranque y operación. En general, puede ser usado durante la fase del diseño, cuando se hacen modificaciones o en cualquier momento durante la vida de una planta o equipo.

Frecuentemente se usa para identificar los modos de falla de interés para el análisis RBD (Diagrama de Bloque de Confiabilidad) y simulación. Por otro lado, el uso del AMEF, se presenta principalmente en mantenibilidad, análisis de seguridad, vulnerabilidad, análisis de soporte logísticos, análisis de planes de mantenimiento y para el descubrimiento de fallas y su aislamiento en los diseños de subsistemas.

Con los elementos de la metodología de cálculo establecida anteriormente y conjuntamente con los procedimientos postulados en este capítulo 2, se procedió a elaborar el AMEF de las maquinas herramientas con arranque de virutas, cumpliendo con el llenado de la hoja de información

2.7. Conclusiones del capítulo 2

- Con la aplicación de la metodología del mantenimiento avanzado, se diseñó un plan de mantenimiento centrado en las fallas y el mantenimiento de criticidad para las maquinas herramientas a objeto de estudio.
- A través del análisis de modo y efecto de falla se reconocieron y evaluaron las fallas potenciales de las máquinas y sus efectos, así como también, identificar las acciones que reducen las probabilidades de falla.
- Se determinaron las variables que influyen sobre la criticidad y se cuantificaron sus efectos. Se definió un método de cálculo que permite encuadrar los resultados en bandas de criticidad, que finalmente se utiliza para establecer la estrategia de mantenimiento a la que será sometido el equipo.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS, VALORACION ECONOMICA E IMPACTO MEDIO AMBIENTAL

3.1. Introducción

La modernización y el aumento de la competitividad de la industria, trae consigo que ésta se halla visto en la tarea de realizar procesos cada día más eficaces, que aumenten a la máxima cantidad posible la calidad reduciendo los costos, en un tiempo de elaboración de los productos cada vez más cortos.

Con la reducción de las fallas, el equipo podrá cumplir con las horas planificadas de trabajo y exceder el plan establecido, por otra parte el personal de mantenimiento mecánico podrá atender con mayor dedicación los mantenimientos programados sin tener que desviarse hacia fallas imprevistas de los equipos, de esta manera los planes de extracción se podrán ejecutar de acuerdo a lo planificado.

El objetivo del capítulo en este capítulo es exponer los resultados obtenidos por medio de la aplicación de la metodología del mantenimiento centrado en la falla y el mantenimiento centrado en la criticidad, así como la introducción de nuevas técnicas que permitan la reducción de los costos y los tiempos de mantenimiento.

3.2. Análisis del mantenimiento por criticidad

Al tener plenamente establecido cuales eran los sistemas más críticos, se pudo establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento, inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

A continuación se presenta la criticidad de las fallas de los componentes de los equipos, en la tabla 3.1 se presenta la jerarquización de los resultados del análisis de criticidad de los tornos TC-1, TC-2, la fresadora FR-1 y el taladro TA-1. Para la elaboración del análisis de criticidad se utilizó un formato que se presenta en el anexo 3.

Tabla 3.1. Jerarquización de los resultados de la criticidad de los equipos de la empresa.

Equipo	Sistema	Frecuencia de falla	Impacto en producción	Costos de reparación	Impacto en seguridad	Impacto en ambiente	Consecuencia	Criticidad
TC - 1	Mecánico	4	12	38	75	90	215	860
	Eléctrico	4	15	33	105	90	243	972
	Lubricación	0	0	0	0	0	0	0
	Refrigeración	2	8	10	3	75	96	192
Equipo	Sistema	Frecuencia de falla	Impacto en producción	Costos de reparación	Impacto en seguridad	Impacto en ambiente	Consecuencia	Criticidad
TC - 2	Mecánico	6	21	66	210	150	447	2682
	Eléctrico	2	10	30	70	60	170	340
	Lubricación	0	0	0	0	0	0	0
	Refrigeración	0	0	0	0	0	0	0
Equipo	Sistema	Frecuencia de falla	Impacto en producción	Costos de reparación	Impacto en seguridad	Impacto en ambiente	Consecuencia	Criticidad
FR - 2	Mecánico	4	18	41	140	120	319	1276
	Eléctrico	2	10	10	70	30	120	240
	Lubricación	2	2	8	70	30	110	220
	Refrigeración	2	6	8	70	30	114	228
Equipo	Sistema	Frecuencia de falla	Impacto en producción	Costos de reparación	Impacto en seguridad	Impacto en ambiente	Consecuencia	Criticidad
TA - 1	Mecánico	1	1	3	35	30	69	69
	Eléctrico	2	10	8	70	30	118	236

Se puede apreciar en el grafico 3.1 que las fallas más notables en el torno TC-01 se presentan en el sistema eléctrico. También se aprecia que en el torno TC-02 la mayor frecuencia de fallas ocurre en el sistema mecánico. Para la fresadora se tiene que la mayor frecuencia de fallas se encuentra en el sistema mecánico y para el taladro se tiene la mayor falla en el sistema eléctrico.

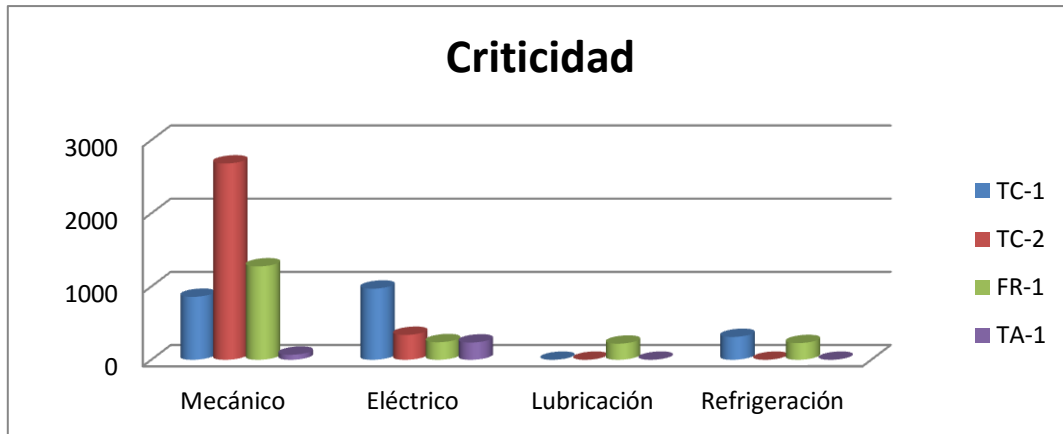


Grafico 3.1. Análisis de la criticidad para los equipos de la Cooperativa Torfrecol R.S.

Para la fresadora se tiene que la mayor frecuencia de fallas se encuentra en el sistema mecánico. En el anexo se mostrara la criticidad del resto de los equipos.

En la tabla 3.1 se recogen algunos de los parámetros considerado para el análisis de criticidad, el estudio de criticidad de estos parámetros de los equipos facilitó y permitió la implantación del procedimiento del mantenimiento, así como el programa de inspección, dado que la lista jerarquizada indica donde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de los intervalos y tipo de inspección requerida para el equipo, con un procedimiento de mantenimiento serán los propios trabajadores quienes resuelven los problemas. Elemento este reportado con anterioridad por Huerta (2007).

Adicionalmente al análisis realizado en los sistemas de mayor criticidad se realizó el análisis del comportamiento de cada uno de los elementos como se muestra en las graficas 3.1, 3.2 y 3.3, que es el resultado del análisis de criticidad realizado a los equipos de arranque de virutas, esto permitió a su vez establecer pautas para el procedimiento metodológico del mantenimiento en la empresa TORFRECOL R.S.

El resultado del análisis de criticidad permitió establecer los tipos de estrategias a seguir y a su vez confirman que los planes de mantenimiento correctivo que ya existen y han sido adaptados a cada equipo de la empresa no han sido los adecuados, observándose que a pesar de que la empresa posee estos planes de mantenimiento, los mismos no están garantizando la disponibilidad adecuada de los equipos, ante esta situación se concluyó que existen una diversidad de razones

por las cuales estos programas de mantenimiento no dan los resultados esperados, entre estas razones se encuentran principalmente:

- 1) adquisición de los repuestos necesarios para solventar las fallas en los tiempos requeridos.
- 2) forma inadecuada en la cual son ejecutados los procedimientos planteados.

En los resultados mostrados en las graficas se demuestra que los sistemas de alta y mediana criticidad de los equipos son los sistemas eléctricos y mecánicos.

Con este análisis de criticidad en estos sistemas ayudará a tomar decisiones más acertadas sobre el nivel de equipos y piezas de repuesto que deben existir en el almacén, es decir, podemos sincerar el stock de materiales y repuestos de cada sistema y equipo logrando un costo optimo de inventario. Lo anterior coincide y ha sido reportado por otros autores como Pérez (2003); Albarracín (2007) y Botero (2007).

Los resultados del análisis de criticidad realizado a los equipos permitieron alcanzar niveles de conocimientos bastante uniforme sobre los procesos, así como la visualización general del equipo y de sus sistemas, el entendimiento del proceso al relacionar funciones con las salidas y finalmente la identificación rápida de las variables de control.

De lo cual se obtiene de esta manera las categorías de criticidad, donde los sistemas evaluados como altamente críticos fueron los sistemas mecánico y el sistema eléctrico, y finalmente en la categoría de baja criticidad quedaron los sistemas restantes, estos son el sistema lubricación y refrigeración. Al dar tratamiento y definir las partes críticas de los equipos con arranque de virutas, damos cumplimiento al objetivo específico número dos de la presente tesis, que plantea: identificar las partes críticas de los equipos de la empresa Torfrecol.r.s.

3.3. Análisis del mantenimiento por AMEF

El AMEF se utilizó como herramienta para la identificación de las fallas potenciales de los equipos con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas.

Es evidente la gran importancia y el alcance de los beneficios que proporciona el Análisis de Modo y Efectos de Falla Potencial como una herramienta para examinar todas las formas en que un componente de los equipos pueda fallar; además se hizo una revisión de la acción que se debe tomar para minimizar la probabilidad de falla o el efecto de la misma.

En la tabla 3.2 se muestra parte del análisis de modo y efecto de falla para los tornos de la empresa Torfrecol R.S. El resto del análisis para el torno y el resto de los equipos de arranque de virutas se muestra en el anexo 4.

Análisis de modo y efecto de falla para el torno				
Equipo y Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Efecto de la Falla	Tarea de Mantenimiento
Avance	El sistema automático da el avance deseado	La correa se encuentra muy estirada	Los avances dan erróneos	Ajustar la correa o reemplazarla
		Desgaste del eje	Vibración	Reemplazar eje
		Desalineación del eje	Vibración	Alinear eje
	No ejecuta los avances	Desgaste de los dientes del piñón	Vibración	Reemplazar el Piñón
		Desgaste de los rodamientos	Vibración	Reemplazar los rodamientos
	Fuga de aceite	Estopera dañada	Desgaste	Reemplazar estopera
Contrapunto	El tornillo de desplazamiento se encuentra dañado	Desgaste	Vibración	Reemplazar el tornillo sin fin
		Corrosión	Se interrumpe la operación	Reemplazar el tornillo sin fin
Caja longitudinal	Caja longitudinal	Desgaste de los dientes del Piñón	Vibración	Reemplazar el Piñón
		Desgaste del eje	Vibración	Reemplazar eje
		Desalineación del eje	Desgaste	Alinear eje

Tabla 3.2. Análisis de modo y efecto de falla para los tornos.

3.4. Análisis por el método de Weibull

Para determinar en qué etapa de la curva de la bañera se encontraban los equipos, se procedió a suministrar los tiempos entre falla a fin de ser procesados estadísticamente por medio de la distribución de probabilidades de Weibull. En la tabla 3.3 se muestran los valores para el cálculo de Weibull Para el torno TC-1.

Tabla 3.3. Valores para el cálculo Weibull

n	TEF(horas)	LN(TEF)	Ps = 1- Pf	LN(LN(1/Ps))
1	120	4,78749174	0,90909091	-2,350618656
2	133	4,89034913	0,81818182	-1,606090045
3	209	5,34233425	0,72727273	-1,144278086
4	254	5,53733427	0,63636364	-0,794106012
5	299	5,70044357	0,54545455	-0,50065122
6	324	5,78074352	0,45454545	-0,237676951
7	403	5,99893656	0,36363636	0,011534137
8	436	6,07764224	0,27272727	0,261812562
9	554	6,31716469	0,18181818	0,533417353
10	624	6,43615037	0,09090909	0,874591383

Para el cual si el parámetro de forma $\beta < 1$ se encuentra finalizando su periodo de mortalidad infantil, si $\beta = 1$ se encuentra en la etapa de la vida útil, también conocida como zona aleatoria y si $\beta > 1$ el equipo se encuentra en zona de desgaste o etapa de obsolescencia. A partir de los siguientes datos entonces se evalúan por las ecuaciones siguientes.

$$n = 10$$

$$\sum L_{nti} = 56,868$$

$$\sum (L_{nti})^2 = 326,2058 \quad (3.1)$$

$$\sum L_n \left[\ln \left(\frac{1}{R(t)} \right) \right] = -4,952$$

$$\sum L_{nti} \cdot \ln \left[\ln \left(\frac{1}{R(t)} \right) \right] = -23,187$$

Para el primer período se calcula entonces por la ecuación 2.27

$$\beta = \frac{n \cdot \sum L_{nti} \cdot \ln \left[\ln \left(\frac{1}{R(t)} \right) \right] - \sum L_{nti} \cdot \sum \ln \left[\ln \left(\frac{1}{R(t)} \right) \right]}{n \cdot \sum (L_{nti}^2) - \sum (L_{nti})^2}$$

Se sustituyen los valores en adecuación a la ecuación anterior.

$$\beta = \frac{(10) \cdot (-23,18) - (56,868) \cdot (-4,952)}{(10) \cdot (326,2058) - (56,868)^2}$$

$$\beta = \frac{49,81}{34,71} = 1,78$$

Se calcula el segundo período

$$-\beta \ln \alpha = \frac{\sum (L_{nti})^2 \cdot \sum \ln \left[\ln \left(\frac{1}{R(t)} \right) \right] - \sum L_{nti} \cdot \ln \left[\ln \left(\frac{1}{R(t)} \right) \right] \cdot \sum L_{nti}}{n \cdot \sum (L_{nti})^2 - \left(\sum L_{nti} \right)^2}$$

Se sustituye y se obtiene

$$-\beta \ln \alpha = \frac{(326,2058) \cdot (-4,952) - (-23,187) \cdot 56,868}{(10) \cdot (326,2058) - (56,868)^2}$$
$$-\beta \ln \alpha = \frac{-296,7728}{28,088} = -10,56$$

Entonces:

$$\ln \alpha = \frac{-10,56}{-\beta} = \frac{-10,56}{-1,78} = 5,936$$

$$\alpha = e^{5,936} = \alpha = 378,41$$

El resultado de 378,41 es el total de horas de vida.

Haciendo el mismo análisis para el torno TC-2 se tiene:

$$\beta = 1,654 \text{ y } \alpha = 721,28$$

Para la fresa FR – 1 se tiene:

$$\beta = 1,06 \text{ y } \alpha = 462,77$$

A partir de los valores de Tiempo entre falla se establece el grafico del Confiabilidad, como aparece en la figura 3.1.

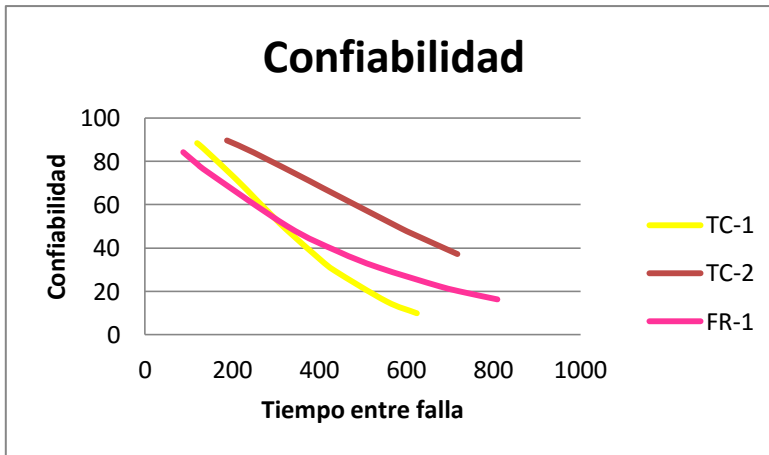


Figura 3.1. Grafico de Confiabilidad.

El análisis realizado estipula que hay que establecer el orden de importancia para cada modo y causa de falla. Observar en detalle las causas de falla y establecer de inmediato las estrategias de mantenimiento para cada causa de falla, lo que va a permitir un avance rápido y firme, hacer énfasis en los efectos de las fallas y tratar de cuantificar más en los efectos y que las tareas de mantenimiento se seleccionen de inmediato después de evaluar las consecuencias de falla, criterios que coinciden con otros autores como Chiang (2003); Choy (2007) y Klimasauskas (2009).

3.5. Análisis de la distribución Weibull

Se describió de manera adecuada los tiempos de falla de los componentes cuando sus razones de falla crecieron y decrecieron con el tiempo, la distribución de Weibull permitió identificar en que zona de la curva de la bañera se encontraba la disponibilidad de funcionamiento de los equipos. La figura 3.2 muestra este comportamiento luego de haber calculado el valor de β .

Habiendo parametrizado los parámetros de cálculo establecidos para determinar la distribución de Weibull, se pudo determinar que el valor de β para el torno TC-1 alcanza un valor de $\beta = 1,78$, observado en la figura 3.2 en el área que corresponde a fallo de desgaste lo que indica que el equipos se encuentra en su periodo de desgaste o etapa de obsolescencia.

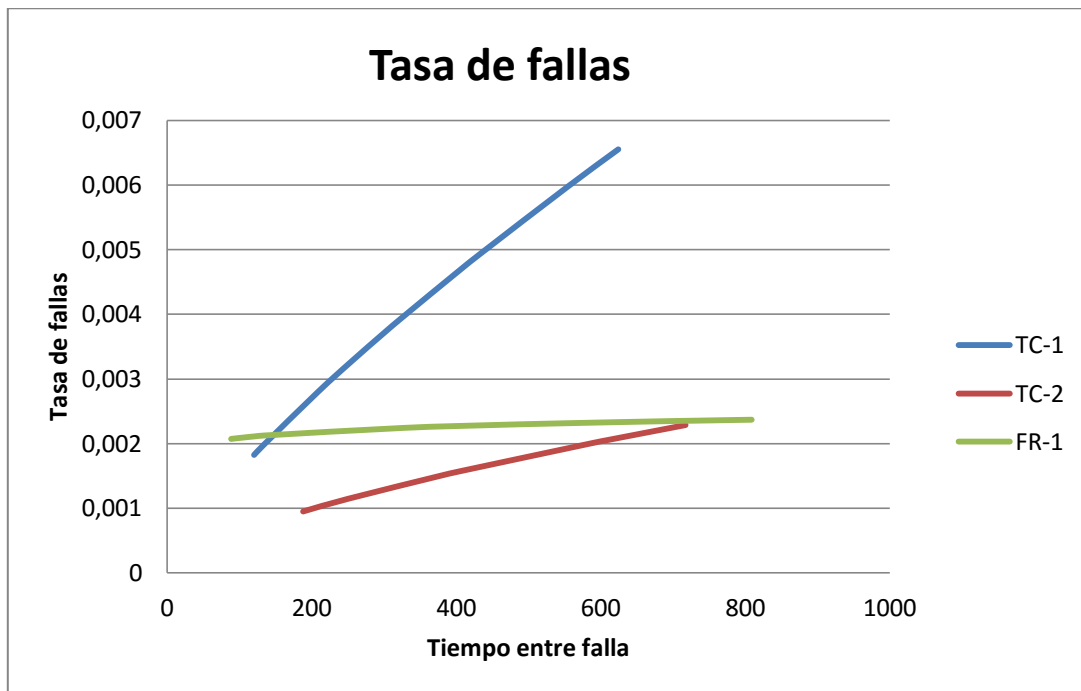


Figura 3.2. Distribución de Weibull para los equipos de arranque de virutas.

Mientras que para el torno TC-2 se tiene un valor de $\beta = 1,654$ observándose que también se encuentra en el periodo de desgaste esto se puede apreciar en la figura 3,2. Por último para la fresadora FR-1 $\beta = 1,06$ se tiene un periodo de operación normal se puede observar la tasa de falla constante en la figura 3.2.

3.6. Análisis de árbol de fallas (AAF)

Es cualquier mantenimiento planeado que se lleva a cabo para hacer frente a las fallas potenciales. Puede realizarse con base en el uso o las condiciones del equipo. Para el caso de los equipos con arranque de virutas aparece el diagnóstico del árbol de falla. El árbol de falla (AAF), permitió identificar las posibles causas de un modo de falla en un sistema en particular. Además, proporcionó una base para calcular la probabilidad de ocurrencia por cada modo de falla del sistema.

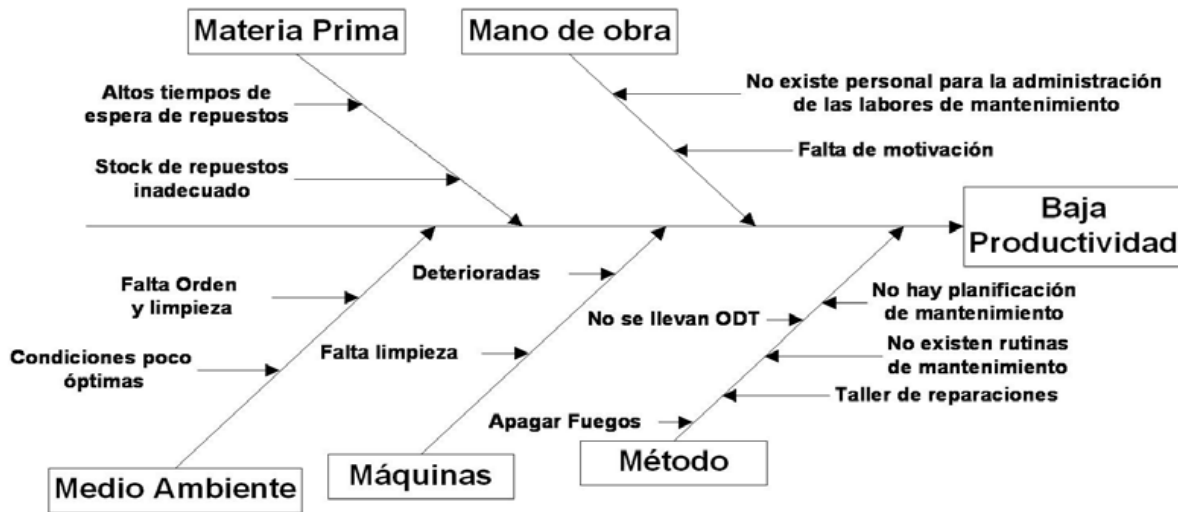


Figura 3.3. Diagnóstico del árbol de falla para los equipos de arranque de viruta.

La justificación del empleo de esta técnica es por la repetición en la ocurrencia de fallas en los equipos, además porque se pudo ilustrar de forma gráfica la relación lógica entre un modo de fallo de un sistema en particular y la causa básica de fracaso.

Con la aplicación esta técnica se pudo determinar los elementos potencialmente críticos durante la temprana etapa del mantenimiento, permitió realizar modos de fallas comunes, evaluando la complacencia en los requisitos de seguridad las justificaciones de diseño de mejoras.

3.7 Herramienta para la ejecución del Plan de Mantenimiento.

El plan de mantenimiento permite la administración de los recursos de mantenimiento tales como: materiales o repuestos, mano de obra. En este sistema operativo se encuentran las órdenes de trabajo y listas de inspección de equipos. Este programa permite el acceso a cada uno de los formatos elaborados, consta de los inventarios de equipos, ordenes de trabajo, lista de repuestos y el registro de mantenimiento correctivo y preventivo. En la figura 3.4, se muestra el menú principal del programa.

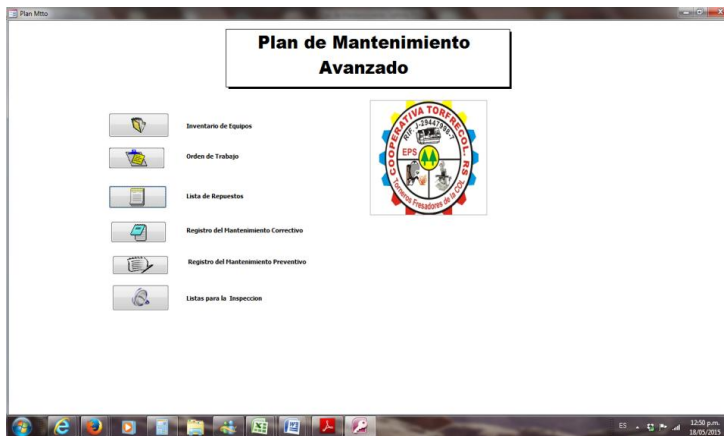


Figura 3.4. Menú Principal del Programa.

Posterior al inicio de la aplicación se muestran cada una de las operaciones que permite realizar el programa. Las cuales se describen a continuación, Menú inventario de equipos; menú orden de trabajo; menú lista de repuestos; Menú registro de mantenimiento Correctivo; Menú registro de mantenimiento Preventivo; Menú Lista de Inspección. En la figura 3.5 se detalla la primera opción.

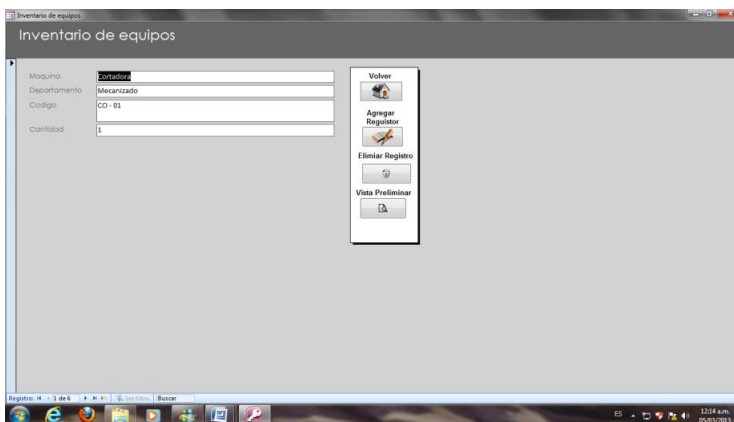


Figura 3.5. Menú de Inventario de equipos.

En esta opción se ingresa toda información referente a los tornos, código del equipo, Marca, Modelo. En la figura 3.6 se describe el menú orden de trabajo. En esta opción se ingresa toda información referente a cada trabajo, puede asignar códigos de fallas, causas, especialidad hasta asignar los recursos que se utilizaron (Materiales, mano de Obra y Servicios Externos).

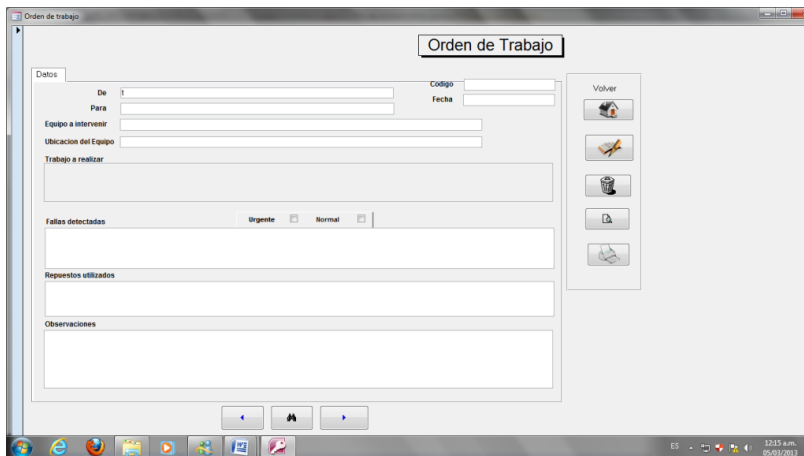


Figura 3.6. Menú Orden de trabajo.

El menú Lista de repuesto permite conocer lo siguiente se registra los materiales y repuestos que se deberían tener en almacén, los costos de mantenimiento al momento de hacer un reemplazo. En la figura 3.7 se muestra el menú Lista de repuestos.

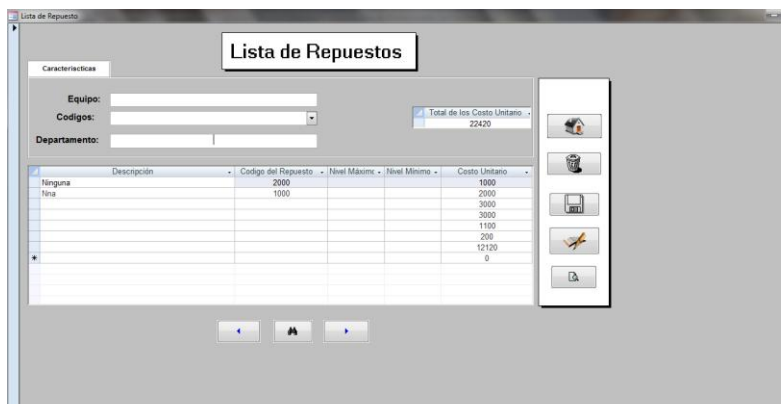


Figura 3.7. Menú Lista de repuestos.

En este menú se debe seleccionar el tipo de mantenimiento requerido, tanto la fecha de mantenimiento, como las horas de trabajo del equipo a el cual se le realice la inspección, de igual forma la descripción de las actividades y los días de frecuencia de las mismas. En la figura 3.8 se muestra el menú de mantenimiento Correctivo.

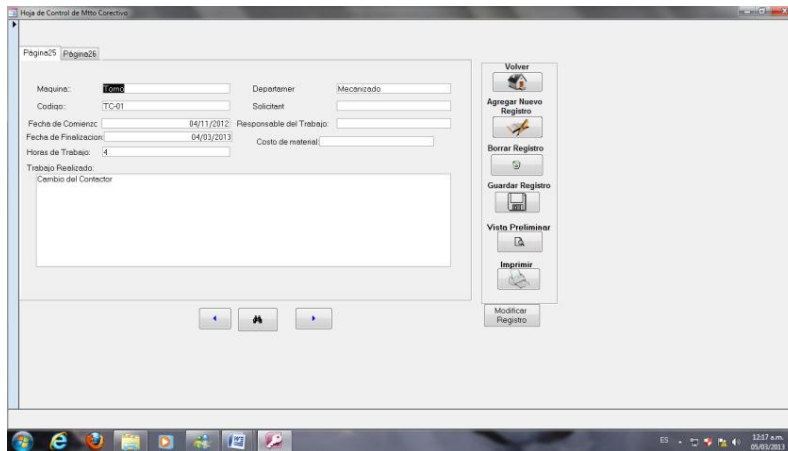


Figura 3.8. Menú Registro de mantenimiento Correctivo.

En este menú se registran todos los mantenimientos que se le realicen al equipo con su descripción detallada, los días de frecuencias y el proveedor en caso de ser necesario. En la figura 3.9 se muestra el menú Registro de mantenimiento Preventivo.

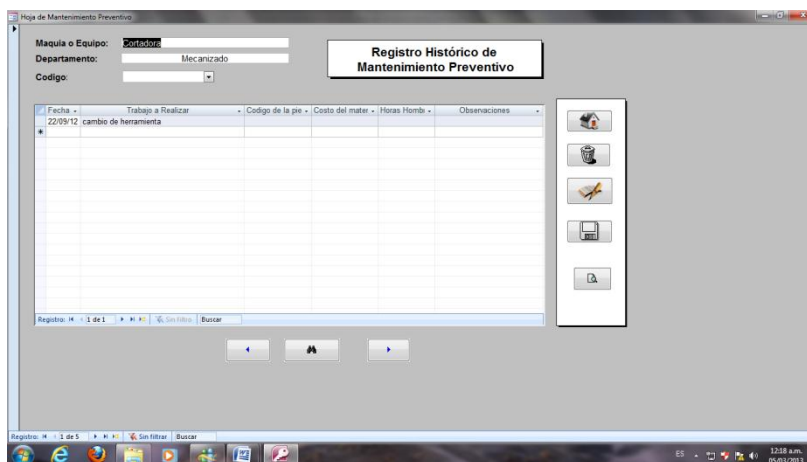


Figura 3.9. Menú Registro de mantenimiento Preventivo.

El menú Control de inspección busca certificar a los operadores ya entrenados, para que realicen las funciones de inspección general y, trabajen conjuntamente con mantenimiento en forma conjunta en la administración de la maquinaria.

También se busca que las actividades de mantenimiento rutinarias se lleven a cabo en tiempo y formas establecidos.

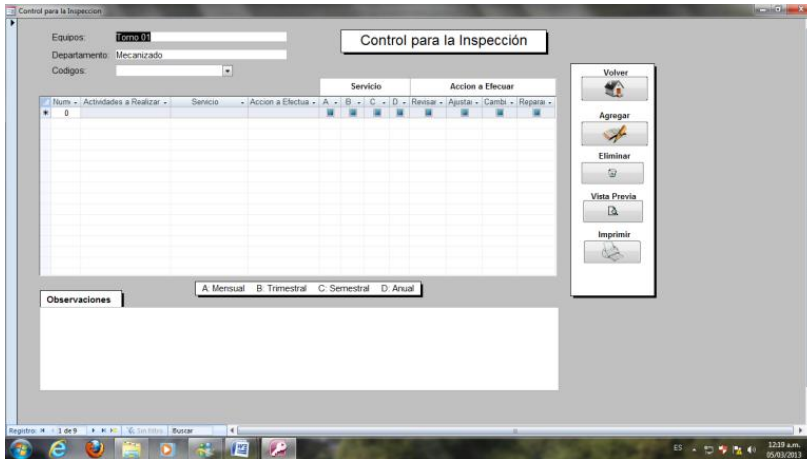


Figura 3.9. Menú Control de Inspección.

3.8. Análisis económico

Desde un punto de vista histórico de contabilidad económica, el mantenimiento se considera un costo; pero el mantenimiento preventivo adecuado conduce a que un determinado equipo o instalación tenga más años de vida.

Para realizar los cálculos de costos de mantenimiento se analizan los gastos de la empresa en: mano de obra, repuestos y materiales.

Para una mejor explicación se realizara el cálculo tomando como ejemplo un torno específicamente el TC – 1, en la tabla 3.4 se muestran los costos de insumos y mano de obra al momento de realizar un mantenimiento preventivo luego de 2304 horas de operación para este equipo.

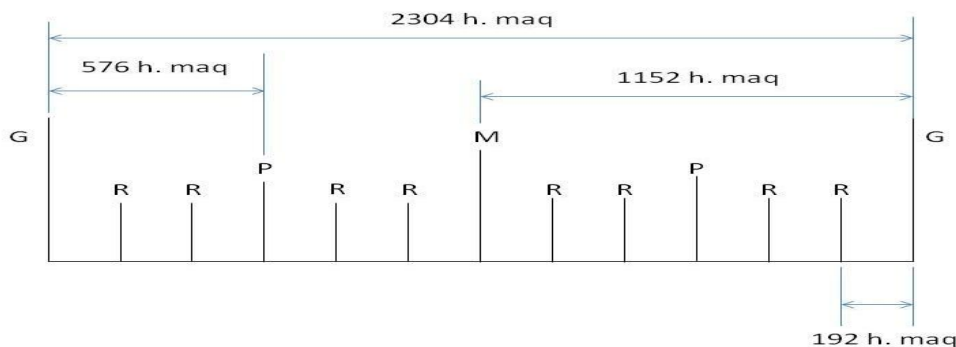


Figura 3.10. Costos del mantenimiento

R – revisión

P – reparación pequeña

M – reparación mediana

G - reparación general.

El comportamiento de los costos por mantenimiento preventivo, son reflejados en la tabla 3.4

Tabla 3.4. Costo de mantenimiento preventivo.

Actividades	Cantidad a Ejecutar	Importe en Dólares
Revisión	8	30
Reparaciones Pequeñas	2	26,25
Reparaciones Medianas	1	131,875
Reparaciones Generales	1	187,5
Total en Dólares		375,63

Tabla 3.5. Costo de mantenimiento correctivo.

Actividades	Importe en Dólares
Mantenimiento Correctivo	546,87

Se puede apreciar como el costo en mantenimiento preventivo es menor que el costo de mantenimiento correctivo.

3.9. Impacto medioambiental de la aplicación del mantenimiento a las máquinas herramientas de la cooperativa Torfrecol r.s.

El mantenimiento como acción, desde el punto de vista ambiental, constituye un medio para prevenir impactos negativos, dado que asegura la fiabilidad de los equipos, lo que reduce el riesgo de ocurrencia de accidentes catastróficos, como incendios, explosiones, emisiones de sustancias tóxicas etc. y a su vez, una fuente de contaminación, porque en su ejecución se producen desechos peligrosos.

El efecto ecológico del mantenimiento se garantiza mediante la gestión eficaz y eficiente de éste y su mejoramiento continuo dentro de un Sistema de Gestión Ambiental, lo cual significa que todos los aspectos ambientales están bajo control operacional y se han tomado todas las acciones para prevenir y corregir impactos. Las acciones para prevenir daños al medioambiente en el taller han sido dirigidas hacia los procesos de mantenimiento. Los factores causales más importantes identificados que pueden propiciar la ocurrencia de impacto al medio ambiente son:

Generación de virutas durante el proceso de fabricación, aceites y productos oleosos, estos incluyen aceites de corte y sustancias para la lubricación y refrigeración de herramientas y piezas trabajadas, en procesos tales como el taladrado, el fresado y el torneado.

El mantener el orden y limpieza en el taller reciclando el material de desecho para su reutilización reduce la contaminación ambiental y los riesgos al personal del taller por esta razón una vez realizado el proceso de mecanizado de una pieza se hace una limpieza del equipo y del sitio de trabajo para eliminar los residuos peligrosos o contaminantes.

Debido a su naturaleza orgánica, los productos lubricantes de refrigeración pueden convertirse en un medio adecuado para la proliferación de bacterias, las cuales pueden tener graves consecuencias para la salud. Tal proliferación se ve favorecida por temperaturas cálidas o muy calientes como las que se dan en el taller, por lo que se acostumbra añadir aditivos bactericidas a los productos. En este contexto, la renovación oportuna y continua de los lubricantes de los equipos de la cooperativa evita la necesidad de agregar altas dosis de aditivos bactericidas. Es imprescindible para la empresa un adecuado almacenamiento de los lubricantes refrigerantes ya 'saturados', así como la posterior separación/eliminación de los aceites y grasas emulsionadas, compuestos metálicos y otras sustancias para evitar la contaminación.

3.10. Conclusiones del capítulo 3

- La ausencia total de un sistema de mantenimiento en la empresa, trae como consecuencia que no se lleve en forma organizada una administración para el control de las pérdidas de tiempo por paros innecesarios, reducir el mantenimiento correctivo y el control de sus costos de operación.
- La implementación del plan mantenimiento avanzado a los equipos de la empresa es una oportunidad para poder mejorar la prestación de servicio a sus clientes y aumentar la calidad de este. Este programa representará un mecanismo por medio del cual la empresa optimizará su servicio, es decir que no tendrá paradas de producción imprevistas que dificulten el desarrollo y el



cumplimiento de trabajos de parte de la misma o riesgos en los operarios y que es fundamental para conservar los equipos de la empresa en una condición segura y funcional.

CONCLUSIONES

El inventario actualizado de maquinas herramientas de la empresa se constituye en la base fundamental para la implementación de un plan de mantenimiento ya que por medio de este documento se tiene un acceso rápido a características propias de cada máquina como: tipo de máquina, modelo y códigos.

En los resultados de análisis de criticidad se evidencio que los sistemas con mayores problemas de afectar las condiciones de los equipos es el sistema mecánico y eléctrico los cuales según la evaluación realizada son los que se encuentran en condiciones de mayor criticidad, por lo tanto fue indispensable establecer las acciones de mantenimiento preventivo para estos sistemas.

Con la elaboración del AMEF desarrollado en la investigación, se analizaron las funciones de las unidades, se identificaron todas las fallas funcionales de los sistemas, se detectaron los modos de fallas y las posibles causas y efectos de las mismas, con la finalidad de prevenirlas posibles averías, a partir de la selección adecuada de las actividades de mantenimiento.

Con la implementación del plan de mantenimiento preventivo se busca mejorar la efectividad de los equipos, a fin de disminuir las horas de parada no programadas, elevar la productividad y minimizar los costos asociados al mantenimiento que impactarían significativamente en la producción, seguridad y ambiente.

En la empresa existía un aumento en los costos de mantenimiento, ya que carecía de actividades de mantenimiento preventivo programadas, lo que conllevaba a que los equipos no contaran con los cuidados necesarios y presentaran en cualquier momento fallas. Otras de las graves causas que se presentan ante esta situación es la ausencia de un adecuado stock de repuestos e insumos para el mantenimiento. Esto ha atrasado muchas veces las reparaciones y ha provocado paros de producción.

Mediante la elaboración del Plan, se logró obtener un mantenimiento organizado y planificado, puesto que aquí se identifican las necesidades de recursos, optimizando los esfuerzos de mantenimiento. Con éstos elementos, las paradas emergentes y los trabajos de mantenimiento correctivo se han minimizado de manera considerable

RECOMENDACIONES

El mantenimiento representa un arma importante en seguridad laboral, ya que un gran porcentaje de accidentes son causados por desperfectos en las máquinas y equipos que pueden ser prevenidos. Por consiguiente el mantener las áreas y ambientes de trabajo con adecuado orden y limpieza es parte importante de un programa de mantenimiento dentro de cualquier organización.

Las máquinas y equipos deben de estar en buenas condiciones de trabajo para poder desarrollar productos de fabricación lo cual deben estar adecuadamente instaladas para obtener buenos productos y poder mejorar la calidad para ser reconocidos a nivel industrial.

Realizar una revisión y actualización permanente del plan de mantenimiento, en función del análisis de los servicios, las fallas reportadas y condiciones operacionales, con el objeto de aumentar la confiabilidad de los equipos, así como garantizar la continuidad de la producción, implementando el plan de mantenimiento preventivo para incrementar la vida útil de los equipos, y disminuir los tiempos fuera de servicio garantizando así la efectividad del sistema.

Para tener éxito en la implementación del plan, es de suma importancia la participación de todo el personal involucrado en el proceso productivo: ejecutivo, gerencial, operacional y autónomo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Basantes, J. L., "Diseño de un Plan de Mantenimiento para los sistemas de Aguas Blancas de PDVSA Gas Distrito Anaco, utilizando la técnica de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)", Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Mecánica, UDO, Puerto La Cruz, Venezuela (2004).
2. Bravo, L., "Guía teórico practica (Fundamentos de mantenimiento)", UDO, Barcelona, Venezuela (2005).
3. Briceño. J y Rodríguez A. Diseño de un programa de mantenimiento para los tornos de Wood Group Pressure Control C.A. Tesis de Grado, Universidad Rafael María Baralt, Ciudad Ojeda. (2002).
4. Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED). Introducción a la Confiabilidad Operacional. Tamare, Venezuela. (1999).
5. Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Primera Edición. Tamare, Venezuela. (1999).
6. CONTRERAS, A., "Programa de control y análisis de fallas de los sistemas rotativos y equipos auxiliares", Tesis de Grado, Coordinación de Ingeniería Mecánica, USB, Sartenejas, Venezuela (2001).
7. Dhillon, B.S. "Engineering Maintenance, A Modern Approach", CRC PRESS, Washington, D.C., 2002.
8. DOUNCE VILLANUEVA, Enrique. La productividad en el mantenimiento industrial. México DF. Compañía Editorial Continental, S.A. 2000.
9. DUFFAA, RAOUF Y DIXON. "Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control". Editorial Limusa Willey S.A. 2005.
10. DURÁN, José B. "Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad Plus Nivel 1. The Woodhuose Partnership Ltd & The Institute Asset Management". Carbones del Guasare S.A, Venezuela. 2005.

11. Duran Jose, El Mejoramiento de la Confiabilidad Operacional, The Woodhouse Partnership, UK. (Firma de Consultoría Basada en Inglaterra). (1998)
12. Gavidia, Germán. Plan de mantenimiento optimo para los equipos del área operacional de la empresa CORPASECA C.A. Tesis de Grado, Universidad Rafael María Baralt, Ciudad Ojeda. (2007).
13. Gómez de León, Felix C. Tecnología de Mantenimiento Industrial. España. Universidad de Murcia. Editorial: Editum. Ediciones de la Universidad de Murcia. Primera edición. (1998).
14. Guio y Molina (2008) Plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad para los tornos paralelos del taller de servicios Metalmecánicos C.A. "SEMECA". Tesis de Grado, Universidad Rafael María Baralt, Ciudad Ojeda. (2008).
15. Hernández, Luis. Diseño y creación de un sistema gestor de base de datos que permite la caracterización de estos equipos en la Provincia de Holguín. Instituto de información científica y tecnológica. Holguín. Cuba. (2005).
16. Huggett, J. The Wooddhouse Parttnership LT. (2000, Julio). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad Plus. Curso dictado en el Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED), filial de PDVSA, Paraguaná. Venezuela.
17. HUERTA MENDOZA, Rosendo. "El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional". Publicación periódica del Club de Mantenimiento, Venezuela. Disponible en: [http: // www.confiabilidad.net](http://www.confiabilidad.net). Febrero 2007.
18. La Torre, Alfonso (2007) "Diseño de programa de mantenimiento para tornos paralelos del taller industrial San Antonio, C.A". Tesis de Grado, Universidad Rafael María Baralt, Ciudad Ojeda. (2008).
19. Nava José Domingo. (2004) Teoría de Mantenimiento Fiabilidad. Universidad de los Andes Consejo de Publicaciones. Segunda Edición. Mérida, Venezuela.

20. Norma COVENIN 3049 (1993) Mantenimiento Definiciones. Comité técnico de normalización CT-3: CONSTRUCCIÓN, en su reunión 124 fecha 01-12-1993.
21. Marshall, E., "Propuesta para el mejoramiento de la confiabilidad operacional de los turbocompresores de la planta Amana ubicada en Punta de Mata- Estado Monagas mediante la evaluación de indicadores de la gestión de mantenimiento", Venezuela (2006).
22. Moubray, J., "Applying and Implementing Risk-based Inspection Programs. Maintenance & Reliability. Hydrocarbon processing", 1997.
23. PARRA, C., "Mantenimiento centrado en confiabilidad", Taller de mantenimiento centrado en confiabilidad / PDVSA-Inteved, Valencia Edo. Carabobo (2005).
24. Pascual J., Rodrigo, "Mantención de Maquinaria", Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile, 2004
25. Prando Raúl R. "Manual de Gestión del Mantenimiento a la Medida". Primera Edición Guatemala Editorial Piedra Santa S.A. 1996.
26. QUERALES, G., YARY, V., "Planificación de las Operaciones del Taller de Reparación de Vehículos de una Empresa Distribuidora de Gas", Tesis de Grado, Departamento de Computación y Sistemas, UDO, Puerto la Cruz, Venezuela (2000).
27. Reverol, Luis. Programa de mantenimiento preventivo de los tornos de la empresa TECNISER C.A. (2010). Tesis de Grado, Universidad Rafael María Baralt, Ciudad Ojeda. (2007).
28. Schvab, Luis. Maquinas y herramientas. Editorial Ministerio de educación de la Republica de Argentina. 2011.
29. Smith, A. RCM: Gateway to World Class Maintenance. Mc Graw Hill. USA. (2004).
30. Sojo Luis. Manual del Curso La Confiabilidad Integral del Activo, The Woodhouse, UK. (Firma de Consultoría Basada en Inglaterra). (2001)

31. Sotillo, G. "Diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en la filosofía del mantenimiento centrado en confiabilidad", Tesis de Grado, Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente, Puerto La Cruz (2000).
32. Trejo E. Análisis Causa Raíz y solución de problemas. Taller dictado en el Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED), filial de PDVSA, Paraguaná. Venezuela. (2002).
33. Zambrano R. Sony A, Leal Sandra L. (2006). Manual Práctico de Gestión de Mantenimiento. Editorial UNET. Táchira. Venezuela.
34. Zambrano R. Sony A, Leal Sandra L. (2007). Fundamentos Básicos de Mantenimiento. Editorial UNET. Táchira. Venezuela.

**ANEXO 1. FICHAS TECNICAS DE LOS EQUIPOS DE LA EMPRESA
TORFRECOL.R.S**

Torno Paralelo		
Datos de identificación		
Máquina	Torno horizontal	
Número de Inventario	TC - 03	
Marca	TRENS TRENCIN	
Datos técnicos		
Voltaje de Operación	220 v	
Motor Eléctrico	7,5 KW	
Potencia del Motor	220 v	
Gama de Velocidades	10 a 1000 r.p.m	
Capacidad entre Puntos	1000 mm	
Diametro de torneado	310 mm	
Accesorios		
Mandril auto-centrante con tres muelas para exteriores y tres muelas para interiores		
Brida de montaje para mandril auto-centrante.		
Punto fijo con cono Morse		

Torno Paralelo		
Datos de identificación		
Máquina	Torno horizontal	
Número de Inventario	TC - 02	
Marca	TRENS TRENCIN	
Datos técnicos		
Voltaje de Operación	220 V	
Motor Eléctrico	7,5 KW	
Potencia del Motor	220 v	
Gama de Velocidades	10 a 1000 r.p.m	
Capacidad entre Puntos	2000 mm	
Diametro de torneado	500 mm	
Accesorios		
Mandril auto-centrante con tres muelas para exteriores y tres muelas para interiores		
Brida de montaje para mandril auto-centrante.		
Punto fijo con cono Morse		

**ANEXO 2. CICLOS DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LA EMPRESA
TORFRECOL.R.S**



Control de Inspección

Código: TC - 01

Fecha

N:

Equipo: Tomo

Código:

Departamento

Elaborado por:

Revisado por:

Nro.	Actividades a realizar	R	P	M	G	Revisar	Ajustar	Cambiar	Reparar
1	Inspeccionar los componentes eléctricos								
2	Lubricar bancada								
3	Revisar las condiciones del refrigerante								
4	Revisar los interruptores y palanca								
6	Revisar la bomba de lubricante y refrigerante								
7	Verificar las condiciones de la bancada								
8	Aplicar grasa a los rodamientos de los motores eléctricos.								
9	Aplicar grasa a la cadena y piñón del motor de avance rápido								
10	Limpieza general								
11	Cambiar lubricante al carro transversal y longitudinal								
12	Verificar la caja de velocidades								
13	Desmontar y limpiar los motores eléctricos								
14	Limpiar tanque de refrigerante								
15	Revisar el estado de las correas del motor								
16	Pintar la maquina si es necesario								

R: Revisión P: Reparación Pequeña

M: reparación Mediana G: Reparación Grande

Efectuar ☐ No Efectuar ☐

Observaciones



Control de Inspección

Código: FR-01

Fecha : _____

N: _____

Equipo: Fresadora
Código: Departamento

Elaborado por: _____
Revisado por: _____

Nro	Actividades a realizar	R	P	M	G	Revisar	Ajustar	Cambiar	Reparar
1	Revisar los niveles de aceite								
2	Limpiar los tonillos de avance y guía deslizadora								
3	Verificar las condiciones de los interruptores de accionamiento								
4	Verificar el estado de todos los filtros de aire								
5	Verificar el estado refrigerante								
7	Cambiar el aceite a la caja de engranajes								
8	Verificar la nivelación de la mesa de trabajo								
9	Medir corriente de consumo del motor principal.								
10	Revisar las correas								
11	Ajustar la máquina (Si lo amerita)								
12									
13									
13									
14									
15									
16									

R: Revisión

P: Reparación Pequeña

M: reparación Mediana

G: Reparación Grande

Efectuar ☐

No Efectuar ☐

Observaciones



Control de Inspección

Código: TA-01

Fecha : _____

N : _____

Equipo: Taladro de pedestal

Código:

Departamento

Elaborado por: _____

Revisado por: _____

Nro	Actividades a realizar	R	P	M	G	Revisar	Ajustar	Cambiar	Reparar
1	Inspeccion de tension de las correas								
2	Verificar interruptor								
3	Inspeccionar manivela de elevación de la mesa								
4	Inspeccionar correas y poleas								
5	inspeccionar engranaje de columna								
7	Medir corriente de consumo del motor principal.								
8	Inspeccionar Conexiones eléctricas								
9	Servicio del motor eléctrico								
10									
11									
12									
13									
13									
14									
15									
16									

R: Revision

P: Reparacion Pequeña

M: reparacion Mediana

G: Reparacion Grande

Efectuar

☐

No Efectuar

☐

Observaciones

ANEXO 3. GUIA PARA LA ELABORACION DE CRITICIDAD

Criterios	Puntos
Frecuencia de fallas	
No más de 1 falla por año	1
Entre 2 a 12 fallas por año	3
Entre 13 a 52 fallas por año	4
Más de 52 por año	6
Impacto operacional	
No afecta el funcionamiento del equipo	0,05
Afecta el 25% de Funcionamiento	0,30
Afecta el 50% de Funcionamiento	0,50
Afecta el 75% de Funcionamiento	0,80
Detiene completamente la operación del equipo	1
Tiempo promedio por repara (TPPR)	
Menos de 4 horas	1
Entre 4 y 8 horas	2
Entre 9 y 24 horas	4
Más de 24 horas	6
Costo de reparación	
Menos de 2500 Bs	3
Entre 2500 a 5000 Bs	5
Entre 5100 a 10000 Bs	10
Más de 10000 Bs	25
Impacto en la seguridad	
No impacta la seguridad de las personas	0
Si impacta la seguridad de las personas	35
Impacto en el ambiente	
No impacta en el ambiente	0
si impacta en el ambiente	30

ANEXO 4. AMEF DE LOS EQUIPOS

ANALISIS DE MODO DE FALLA AL TORNO PARALELO				
Equipoy Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Efecto de la Falla	Tarea de Mantenimiento
				Propuesta
Avance	El sistema automatico na da el avance deseado	La correa se encuentra muy estirada	Los avances dan erroneos	Ajustar la correa o reemplazarla
		Desgaste del eje	Vibracion	Reemplazar eje
		Desalineacion del eje	Vibracion	Alinear eje
	No ejecuta los avanca	Desgaste de los dientes del piñon	Vibracion	Reemplazar el piñon
		Desgaste de los rodamientos	Vibracion	Reemplazar los rodamientos
	Fuga de aceite	Estopera dañada	Deasgaste	Reemplazar estopera
Contrapunto	El tornillo de desplazamiento se encuentra dañado	Desgaste	Vibracion	Reemplazar el tornillo sin fin
		Corrosion	Se interrumpe la operación	Reemplazar el tornillo sin fin
Caja longitudinal	Caja longitudinal	Desgaste de los dientes del piñon	Vibracion	Reemplazar el piñon
		Desgaste del eje	Vibracion	Reemplazar eje
		Desalineacion del eje	Deasgaste	Alinear eje

ANALISIS DE MODO DE FALLA AL TORNO PARALELO				
Equipo y Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Efecto de la Falla	Tarea de Mantenimiento
				Propuesta
				Actividad
Torreta	Los tornillos se dañan	Se aista la rosca del tornillo	No aprieta	Reepblazar los tornillos
		Fractura del tornillo	No aprieta	Reepblazar los tornillos
Fijador de herramientas	La tuerca se daña	Se aista la rosca del tornillo	No aprieta	Reepblazar la tuerca
		Fractura de la tuerca	No aprieta	Reepblazar la tuerca
Bomba de lubricacion	La bomba no suministra la carga deseada	Obstruccion del filtro del sistema	Insuficiente suministro de aceite dentro de la unidad	Limpiar el filtro del sistema
		No hay aceite en el tanque de almacenamiento	Insuficiente suministro de aceite dentro de la unidad	Verificar el nivel de aceite dentro de la unidad
		Ruptura de la tubería	Insuficiente suministro de aceite dentro de la unidad	Verificar si existe rotura de la tubería
		Vibracion de la bomba	Insuficiente suministro de aceite dentro de la unidad	reemplazar rodamientos

ANÁLISIS DE MODO DE FALLA AL TORNO PARALELO				
Equipo y Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Efecto de la Falla	Tarea de Mantenimiento
				Propuesta
				Actividad
MOTOR	El motor eléctrico no funciona	Desgaste en los rodamientos	Insuficiente movimiento para la unidad	Reemplazar los rodamientos anualmente
		Vibración excesiva en el motor	Insuficiente movimiento para la unidad	Verificar que todos los tornillos estén en su lugar apretados, en caso contrario apretarlos antes de comenzar cada tarea
		Transmisión entre el motor eléctrico y la polea	Se interrumpe la operación de movimiento	Verificar la correa de transmisión entre el motor y la polea y corregir según la necesidad
	No transmite la potencia requerida por el torno	Falta o exceso de lubricantes en los rodamientos del motor	Se interrumpe la operación de movimiento	Lubricar adecuadamente los rodamientos (cantidad y especificación correctas del lubricante) diariamente
		Fractura, agrietamiento o desgaste en los rodamientos del motor eléctrico	Se interrumpe la operación de movimiento	Evaluar condición y ajuste de los rodamientos del motor o reemplazarlos de ser necesario, monitoreo de la vibración mensualmente
		Tensión excesiva en la correa de transmisión, o empuje excesivo lateral de la carga	Se interrumpe la operación de movimiento	Verificar condición y tensión de la correa y se compara con los valores de deflexión máximos permitidos quincenalmente

ANÁLISIS DE MODO DE FALLA DE LA FRESADORA				
Equipo y Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Efecto de la Falla	Tarea de Mantenimiento
				Propuesta
				Actividad
Transmision de poleas	Desalineamiento	Ejes porta poleas no paralelos	Las correas se salen o se desgastan rapidamente	Inspeccionar la alineacion de las correas antes de iniciar las actividades
		Poleas desalineadas		
	Deslizamiento	Correa no tensada	Menor velocidad de trabajo	Inspeccionar la tension de las correas antes de iniciar las actividades
		Carga Exesiva		
Transmision de engranajes	Desplazamiento irregular de la mesa	Falta de liberacion	Mal acabado e imperfeccion de los elementos mecanizados	Se deben corroborar las dimensiones de las piezas que se mecanizarlos datos del plano
		Contaminacion por particulas		
		Carga excesiva		
		Dientes deteriorados		
	No se desplaza la mesa	Dientes rotos	No se puede mecanizar	Despues de cada trabajo revisar el funcionamiento de la maquina manualmente
		Cojinetes averiados		
		Contaminacion por particulas		
	Ruido	Falta de lubricacion	Contaminacion auditiva	Semanalmente revisar ruidos fuera de lo comun
		Dientas deteriorados		
Contaminacion por particulas				
Guias de desplazamiento	Desgaste	Falta de liberacion	Movimientos impresisos	limpiar las guias y lubricarlas diariamente
		Contaminacion por particulas		
	Fractura	Falta de liberacion	Sin deslizamiento de la mesa	Despues de cada trabajo revisar el funcionamiento de la maquina manualmente
		Contaminacion por particulas		
		Carga excesiva		
	Husillo	Vibracion	Eje desbalanceado	Mal acabado e imperfeccion de los elementos mecanizados
Eje doblado				
cojinetes averiados				

ANALISIS DE MODO DE FALLA AL TALADRO				
Equipo y Función	Modo de Falla	Causa de Falla	Efecto de la Falla	Tarea de Mantenimiento
				Propuesta
				Actividad
Poleas	Desalineamiento	Demasiada potencia del motor	Perdida de potencia	Inspeccion
Bandas	Rotura de la banda	Desgaste	Perdida de movimiento	Reemplazar banda
Eje principal del mandril	Rotura del eje	Mala calidad del eje	Perdida de velocidad	Reemplazar eje
Muelas del mandril	Rotura de las muelas	Mal ajuste de la broca	Mala sujecion de la broca	Reemplazar el mandril
Mesa	Caída de la mesa	Demasiado peso del material	Mala calidad de perforacion	Reemplazar mesa
Motor electrico	Fundicion	demasiada cantidad de material	Parada de la maquina	Reemplazar el motor