

**ESTUDIO Y ANALISIS DE MODOS DE FALLAS Y SUS EFECTOS
EN MAQUINA RECONSTRUCTORA DE ZAPATAS DE EQUIPOS
CATERPILLAR PARA LA EMPRESA GECOLSA S.A.**

Alejandro David Castro Barranco.

Alex Nieto Sarmiento.



**FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
CARTAGENA DE INDIAS**

2011

**ESTUDIO Y ANALISIS DE MODOS DE FALLAS Y SUS EFECTOS
EN MAQUINA RECONSTRUCTORA DE ZAPATAS DE EQUIPOS
CATERPILLAR PARA LA EMPRESA GECOLSA S.A.**

Alejandro David Castro Barranco.

Alex Nieto Sarmiento.

**Trabajo Final Integrador para optar el título de Especialista en
Gerencia de Mantenimiento**

Director Trabajo Final Integrador

MSc, ME Vladimir Quiroz Mariano.



**FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
CARTAGENA DE INDIAS**

2011

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias D. T. y C., 28 de Julio de 2011

Cartagena de Indias D. T. y C., 28 de Julio de 2011

Señores:

Comité Evaluador

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Universidad Tecnológica De Bolívar

Ciudad.

Apreciados señores:

Por medio de la presente nos permitimos someter para su estudio, consideración y aprobación el Trabajo Final Integrador titulado **“ESTUDIO Y ANALISIS DE MODOS DE FALLAS Y SUS EFECTOS EN MAQUINA RECONSTRUCTORA DE ZAPATAS DE EQUIPOS CATERPILLAR PARA LA EMPRESA GECOLSA S.A.”** realizada por los estudiantes **Alejandro David Castro Barranco y Alex Nieto Sarmiento** para optar al título de Especialistas en Gerencia de Mantenimiento.

Cordialmente,



Alejandro David Castro Barranco



Alex Nieto Sarmiento

CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Cartagena de Indias D. T. y C., 28 de Julio de 2011

Yo, **Alejandro David Castro Barranco**, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado **“ESTUDIO Y ANALISIS DE MODOS DE FALLAS Y SUS EFECTOS EN MAQUINA RECONSTRUCTORA DE ZAPATAS DE EQUIPOS CATERPILLAR PARA LA EMPRESA GECOLSA S.A”** producto de mi actividad académica para optar el título de **Especialista en Gerencia de Mantenimiento** de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la Ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la Ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entrego al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.



Alejandro David Castro Barranco
C.C. 72274770 de Barranquilla- Atl

CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Cartagena de Indias D. T. y C., 28 de Julio de 2011

Yo, **Alex Nieto Sarmiento** manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado **“ESTUDIO Y ANALISIS DE MODOS DE FALLAS Y SUS EFECTOS EN MAQUINA RECONSTRUCTORA DE ZAPATAS DE EQUIPOS CATERPILLAR PARA LA EMPRESA GECOLSA S.A”** producto de mi actividad académica para optar el título de **Especialista en Gerencia de Mantenimiento** de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la Ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la Ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entrego al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.



Alex Nieto Sarmiento
C.C. 8.649.229 de Sabanalarga-Atl.

Cartagena de Indias D. T. y C., 28 de Julio de 2011

Señores:

Comité Evaluador

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Universidad Tecnológica De Bolívar

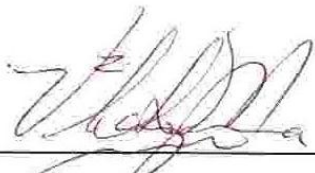
Ciudad.

Apreciados señores:

Por medio de la presente me permito informarles que el Trabajo Final Integrador titulado “**ESTUDIO Y ANALISIS DE MODOS DE FALLAS Y SUS EFECTOS EN MAQUINA RECONSTRUCTORA DE ZAPATAS DE EQUIPOS CATERPILLAR PARA LA EMPRESA GECOLSA S.A**” ha sido desarrollado de acuerdo a los objetivos establecidos por la Especialización de Gerencia en Mantenimiento.

Como director del proyecto considero que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

Atentamente



MSc Vladimir Quiroz Mariano

Director Trabajo Final Integrador

CONTENIDO.

INTRODUCCION.

01.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

02.JUSTIFICACIÓN

03.OBJETIVOS.

1. CARACTERIZACION DEL PROCESO DE RECUPERACION DE ZAPATAS

1.1 CONSIDERACIONES TECNICAS PARA EL PROCESO ACTUAL DE RECUPERACION DE ZAPATAS.

1.2 PASOS PARA RECUPERAR ZAPATAS.

1.2.1 Desarme.

1.2.2 Corte

1.2.3 Punteo y Fondeo

1.2.3.1 Fondeo

1.2.4 Soldadura de Relleno.

2. SISTEMA ACTUAL DE MANTENIMIENTO.

2.1ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO REALIZADAS EN LA MAQUINA RECONSTRUCTORA DE ZAPATAS.

3. INTRODUCCION AL ANALISIS DE FALLA DE MANTENIMIENTO.

3.1ESTUDIO DE MODOS FALLAS Y SUS EFECTOS

3.1.2 Enfoque Sistémico

3.1.3 Misión del Sistema.

3.1.4 Componentes.

3.1.5 Efectividad de los Sistemas

3.1.6 La Confiabilidad.

3.1.7 Factores que Afectan la Confiabilidad de los Sistemas

3.2 FUNCIONES.

3.2.1 Descripción de Funciones.

3.2.2 Parámetros de Funcionamiento.

3.2.3 El Contexto Operacional.

3.2.4 Diferentes Tipos de Funciones.

3.3 FALLAS FUNCIONALES

3.3.1 Parámetros de Funcionamiento

3.3.2 Falla Total y Parcial.

3.3.3 Límites Superiores e Inferiores.

3.4 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS

3.4.1 ¿Qué es un Modo de Falla?

3.4.2 ¿Por qué Analizar Modos De Falla.

3.5 EFECTOS DE LA FALLA.

3.5.1 Fuentes de Información acerca de modos de Falla y sus Efectos.

4. REGISTRO DE LAS FUNCIONES, MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS EN MAQUINA RECONSTRUCTORA DE ZAPATAS.

4.1 BENEFICIOS A CONSEGUIR.

4.2 MAYOR SEGURIDAD Y PROTECCIÓN DEL ENTORNO.

4.3 MAYOR RENDIMIENTOS OPERATIVOS.

4.4 MAYOR CONTROL DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO.

4.5 MÁS LARGA VIDA ÚTIL DE LOS EQUIPOS.

4.6 UNA AMPLIA BASE DATOS MANTENIMIENTO.

4.7. MAYOR MOTIVACIÓN DE LAS PERSONAS.

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Formatos Análisis de Fallas

LISTA DE FIGURAS

Figura No. 1. Tractor de orugas

Figura No. 1.1. Geometría de la zapata cuando está en su estado original de fábrica.

Figura No. 2. Zapata de referencia. Fuente: Manual de servicio Caterpillar

Figura No. 3. Unidad de zapata mostrando las partes constitutivas. Fuente: Manual de servicio Caterpillar

Figura No. 4. Zapata del tren de rodaje y la manera como se determina el desgaste sufrido por estas piezas utilizando reglas de medir. Fuente: Manual de servicio Caterpillar

Figura No. 5. Medición del desgaste utilizando equipo de ultrasonido. Fuente: Manual de servicio Caterpillar

Figura No. 6. Zapatas en servicio que presenta algunos daños comunes que sufren. Fuente: Manual de servicio Caterpillar

Figura No. 7. Aspecto de la operación del corte de las venas desgastadas. Fuente: Taller Machine Shop Gecolsa.

Figura No. 8. Aspecto del proceso de pulido de las zapatas una vez cortadas las venas desgastadas. Fuente: Taller Machine Shop Gecolsa.

Figura No. 9. Aspecto del proceso de punteo y fondeo de las venas nuevas, zapata ajustada a la mesa por tornillos. Fuente: Taller Machine Shop Gecolsa.

Figura No. 10. Aspecto del proceso de fondeo en donde puede verse a un operario desatornillando los pernos de sujeción de la zapata para el proceso correspondiente a esta etapa. Fuente: Taller Machine Shop Gecolsa

Figura No. 11. Etapa de soldadura por arco sumergido SAW. Fuente: Taller Machine Shop Gecolsa

Figura No. 12. Aspecto de la aplicación de los cordones de relleno a las zapatas en recuperación. Fuente: Taller Machine Shop Gecolsa.

Figura No. 13. Etapa de resane y alistamiento. Fuente: Taller Machine Shop Gecolsa.

Figura No. 14. Función primaria de la bomba

Figura No. 15. Relación entre el funcionamiento y la capacidad

Figura No. 16. Relación entre los límites de funcionamiento y la capacidad

.LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de funcionamientos.

Tabla 2. Actividades a ejecutar.

Tabla 3. Disponibilidad equipo reestructora de zapatas.

INTRODUCCION.

En el ambiente industrial el mantenimiento se considera fundamental para que los activos físicos se desempeñen de manera apropiada, realizándolo con mucha responsabilidad y el compromiso pertinente.

Cabe notar que un mal mantenimiento realizado a cualquier equipo traerá como consecuencia una baja productividad en la empresa, baja calidad del producto haciendo que los costos de producción así como los de mantenimiento aumenten, con el fin de evitar estos aumentos las empresas, hoy en día invierte en investigaciones y métodos para hacer del mantenimiento una tarea representada en ganancias y disminuciones de costos.

El mantenimiento en la industria representa un costo fijo considerable que de una u otra manera repercute en las finanzas de esta, el sistema de mantenimiento implementado en una empresa debe estar enfocado hacia permitir que los equipos funcionen de manera adecuada. Hoy en día las industrias nacionales e internacionales deben poseer un alto grado de competitividad y confiabilidad, para lograr este propósito implica un aporte de tipo económico, tecnológico y de talento humano, todo esto soportado con el aprovechamiento al máximo de los recursos existentes.

Para que un programa de mantenimiento sea eficaz debe cumplir con los estándares de funcionamiento establecidos, además de ser necesario el control, la planeación, la programación de las tareas y contar con toda la información posible de los equipos que emplea la empresa en su proceso productivo como de la industria general.

La empresa GECOLSA no es exenta del mantenimiento, se ve en la necesidad de enfatizar en un mantenimiento que la ayude a asumir los retos de productividad y calidad que el mercado le impone. Este programa de mantenimiento preventivo esta enfocado en las políticas establecidas por la empresa denominadas QEHS (QUALITY ENVIROMENTE HEALTH & SECURITY) Calidad, medio ambiente, salud y seguridad, todo esto aplicado a los diferentes departamentos que componen la empresa, haciendo de esto un estándar de operación para sus procesos. Este proyecto específico para mantenimiento buscara la mejorar en los tiempos de análisis de falla buscando aportar a las políticas antes mencionadas.

01. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Actualmente el la mayoría de las empresas realizan actividades correctivas, mantenimiento preventivo y predictivo, no existiendo un lazo bien definido entre las problemas cotidianos a causa de paro de maquinas por cuestiones de falla de equipo y las acciones tomadas para la eliminación de dichos problemas.

Acerca de las fallas de los equipos, en muchos casos es muy difícil saber cuánto tiempo se llevara la corrección de los mismos problemas, ya que depende de la habilidad del técnico de equipo y de la clase de problema, esto es porque no está definida una metodología sistemática para la corrección de fallas.

02. JUSTIFICACION.

En razón de lo expuesto hemos propuesto desarrollar un análisis que de solución a la problemática comentada, denominado estudio y análisis de modo de falla y sus efectos en la maquina re constructora de zapata genera un valor agregado al objetivo de mejoramiento continuo de la compañía, ya que se cuenta con criterios con contenidos científicos y tecnológicos para respaldar las acciones de mantenimiento a realizar.

0.3 OBJETIVOS.

GENERAL.

- Realizar un estudio y análisis de modos de fallas y sus efectos en la maquina reconstructora de zapata de equipos Caterpillar para la empresa GECOLSA S.A.

ESPECIFICOS.

- Realizar el análisis de la situación actual para definir las necesidades del proceso de mantenimiento.
- Desarrollar un formato de análisis de modos de falla en el cual se consignara y describirá sistémicamente como la falla funcional afecta los diferentes elementos de los equipos.

1. CARACTERIZACION DEL PROCESO DE RECUPERACION DE ZAPATAS

SERVICIO GECOLSA. Es una organización líder en la reconstrucción de componentes para equipo minero, de construcción, marino, generación e industria en general; soportando además a los centros de recuperación (**CRC**) y demás talleres Ofrece servicios de rectificado (bloques, cigüeñales, culatas, bielas y soldadura (alineación, reconstrucción, protección contra el desgaste). Este departamento tiene certificación ISO 9002.

El taller de SERVICIO GECOLSA está a la vanguardia en reconstrucción de partes con tecnología de punta como lo son:

- Reparación de partes de reductores, transmisiones, convertidores, diferenciales, compresores y mandos finales de equipos mineros e industriales.
- Reparación por soldadura de componentes estructurales.
- Servicio en campo para reconstrucción de alojamiento de pasadores.
- Reparación bancada de motores, compresores, moto reductores, etc.
- Servicio de ultrasonido, partículas magnéticas y tintas penetrantes.
- Protección contra el desgaste.
- Reparación de zapatas para tractores de oruga.

1.1 CONSIDERACIONES TECNICAS PARA EL PROCESO ACTUAL DE RECUPERACION DE ZAPATAS.

Uno de los procesos productivos de la empresa Gecolsa S.A., es la reconstrucción de las zapatas de oruga de tractores. Actualmente esta actividad se realiza en diferentes etapas de forma secuencial y en secciones contiguas pero diferentes,

Por esta situación la empresa quiere mejorar los procedimientos de mantenimientos realizados para así aportar a los procesos de mejoramiento tendientes mejorar la productividad, por lo cual ha optado por el desarrollo de proyectos de investigación y desarrollo en convenio con las universidades del sector, por tal decidió implementar una estrategia con estudiantes del Programa del postgrado de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad Tecnológica de Bolívar enfocado al análisis de falla y sus efectos en las maquinas de reconstrucción de zapatas.

Se inicia con la caracterización del actual proceso de reconstrucción de las zapatas. Para el análisis del proceso actual, se toma como referencia la zapata de mayores dimensiones, esto porque exige en mayor medida al sistema a diseñar y porque este tipo de zapatas es el mas complejo para trabajar. En la siguiente figura se muestra



Figura No 1. Izq. Tractor de Oruga CAT D8T, Der. Sistema de rodaje con zapata ensamblada al mismo.



Figura No 1.1. Geometría de la zapata cuando está en su estado original de fábrica.

En la grafica se muestra como medir el desgaste del riel de rodadura.

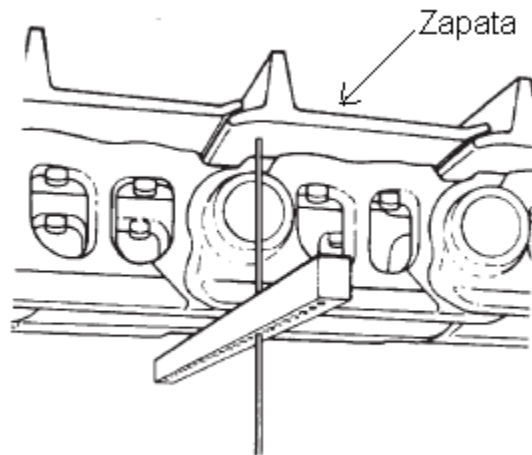


Figura 2. Zapata de referencia. Fuente: Manual de servicio Caterpillar

En la figura 2 se presenta una sección de la oruga para movimiento de una máquina con tren de rodaje por cadenas articuladas. Se señala la zapata, esta pieza es sujeta al riel de rodadura por medio de tornillos de montaje y desmontaje. Las zapatas son las piezas que están en contacto con el suelo y por lo tanto son de los componentes con mayor desgaste en el tren de rodaje.

La figura 3 muestra una zapata unidad e identifica sus elementos constitutivos, según se define por el fabricante de trenes de rodaje para maquinaria de construcción y minería de los estados unidos, la marca Caterpillar

La aleta vertical observada en la figura es la parte de la zapata expuesta a mayor desgaste abrasivo, la cual es objeto del proceso de reacondicionamiento en los talleres de la empresa Gecolsa.

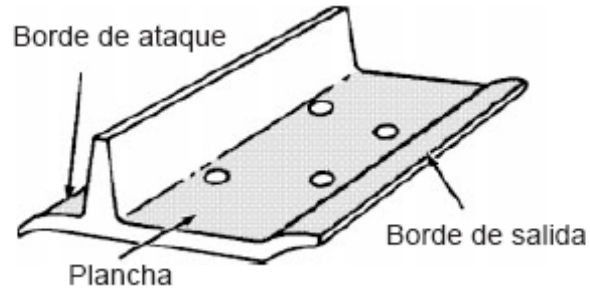


Figura 3. Unidad de zapata mostrado las partes constitutivas. Fuente: Manual de servicio Caterpillar

La figura 4 presenta el perfil de la zapata y la manera como se determina el grado de desgaste por medición directa con regla de medir.

La figura 5 muestra la medición del desgaste utilizando equipo de ultrasonido para medir espesores, en este caso el error máximo de medición es de 0.25 mm.

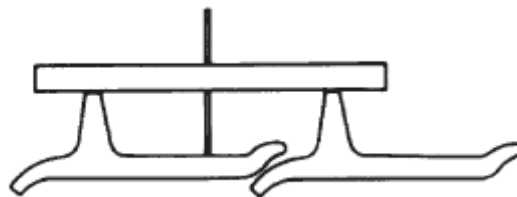


Figura 4. Zapata del tren de rodaje y la manera como se determina el desgaste sufrido por estas piezas utilizando reglas de medir. Fuente: Manual de servicio Caterpillar

El tren de rodaje es sujeto a actividades de mantenimiento como limpiezas, lubricación, tensionado de cadenas durante su vida útil. Luego de cumplido un determinado número de horas de operación y/o si el estado mecánico del tren muestra problemas de ruido, golpes, resistencia excesiva, entonces es necesario el mantenimiento de reparación en este importante sistema de propulsión de las máquinas de minería y construcción movidas por cadenas.



Figura 5. Medición del desgaste utilizando equipo de ultrasonido. Fuente: Manual de servicio Caterpillar

El montaje de las zapatas por medio de tornillos sobre el riel, permite cambiar solo las zapatas que en un momento dado estén malas sin necesidad de cambiar todo el conjunto. Cuando se realizan reparación total a las cadenas lo acostumbrado es cambiar todas las zapatas por conjuntos nuevos o reacondicionados.

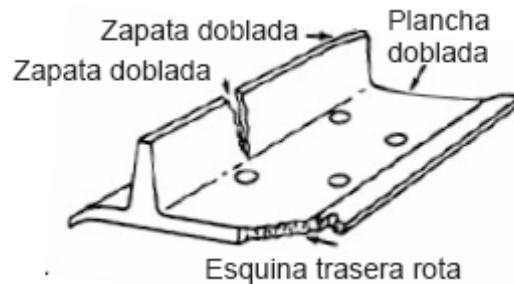


Figura 6. Zapatas en servicio que presenta algunos daños comunes que sufren. Fuente: Manual de servicio Caterpillar

Los daños que sufren las zapatas durante el servicio (figura 6) pueden ser de varios niveles, en todo caso las zapatas no recuperables se desechan y las que pueden recuperarse se someten al proceso de reacondicionamiento.

1.2 PASOS PARA RECUPARAR ZAPATAS.

Una vez las cadenas en los talleres se proceden a desarmarlas para revisión de todas sus partes como son: Rieles de rodadura, pasadores, ruedas de guía, ruedas de impulsión, rodillos de soporte y guías, zapatas, tortillería entre otros. Para el cambio y reparación específico de las zapatas se siguen las siguientes fases:

1.2.1 Desarme.

En esta etapa se toma la cadena en la cual se encuentran las zapatas, está es montada en una mesa que posee rodillos y un polipasto de , con capacidad de 10 Toneladas, él cual, se encarga de halar y llevarla hasta el lugar donde se encuentra el operario, quien con ayuda de un llave neumática, quita los tornillos de sujeción y desmonta una por una las zapatas para luego trasladarlas a un área de almacenamiento, el número de zapatas desarmadas en esta etapa es aproximadamente de catorce (14) zapatas por hora. Esta etapa de alguna manera no es parte del taller de reacondicionamiento de las zapatas, esto es porque el desarme puede hacerse incluso por personal del cliente y por lo tanto, incluso en los patios de la sección de recuperación no se dispone de área para el desarme de las zapatas, el área de desarme está al lado de la zona de recuperación, En esta sección solo entran las zapatas como unidades a reparar.

1.2.2 Corte.

En esta etapa se toma un grupo de zapatas y con ayuda de dos (2) operarios se coloca una por una sobre una mesa en donde se atornilla cada zapata a un soporte para sujetarla y luego de medir la distancia a la cual se va realizar el proceso de corte, se procede a cortar la vena (parte de la zapata en contacto directo con el suelo), lo anterior no sin antes haber alineado la zapata con la boquilla del soplete. En esta mesa solo caben dos (2) zapatas, las zapatas con las

venas cortadas son nuevamente almacenadas. La figura 7 muestra esta fase de las operaciones.

Las siguientes son las especificaciones para esta etapa del proceso.

- Tiempo de montaje: 90 seg.
- Calentamiento : 180 seg
- Tiempo de corte por zapata: 210 seg.
- Tiempo de desmontaje: 60 seg.
- Distancia de corte (raíz - vena): 0.6 pulgadas.
- Voltaje: 27.5 volt. Aclarar para que este voltaje
- Equipo de corte: corte oxiacetilénico o plasma.
- Tiempo de enfriamiento: 900 seg (estimado) o 15 minutos.
- Dispositivo de sujeción: tornillo de sujeción.
- Protecciones: guantes, gafas y botas de seguridad.
- Material consumible: tanques de oxígeno y acetileno.
- Producción: de 8 zapatas por hora (4 zapatas por operario y existen dos operarios). Lo cual significa 64 zapata / turno de 8 horas.



Figura 7. Aspecto de la operación del corte de las venas desgastadas. Fuente: Taller Machine Shop Gecolsa.

1.2.3. Punteo y Fondeo.

En esta etapa las zapatas son pulidas una a una con discos de esmeril utilizando una pulidora y luego se ejecuta el proceso de punteado de la vena a la zapata esto con el fin de evitar charcos de soldadura distorsiones y acumuladores de esfuerzos los cuales pueden originar fracturas en el momento de aplicar el proceso de soldadura por arco sumergido (SAW). Los procesos de pulido y punteado son realizados por dos operarios en una mesa. Estas zapatas son nuevamente almacenadas.



Figura 8. Aspecto del proceso de pulido de las zapatas una vez cortadas las venas desgastadas. Fuente: Taller Machine Shop Gecolsa.

Las siguientes son las especificaciones del procedimiento de punteo y fondeo.

- Montaje de zapata: 60 seg.
- Tiempo de punteo por zapata: 90 seg.
- Tiempo de fondeo por zapata: 720 seg.
- Tiempo de enfriamiento: 15 minutos estimados.
- Desmontaje de zapata: 60 seg.
- Equipos: soldadura con arco protegido

- Protección: guantes, gafas, pechera y cascos.
- Material consumible: electrodos.
- Producción: de 8 zapatas por hora. (4 zapatas por operario y existen dos operarios).

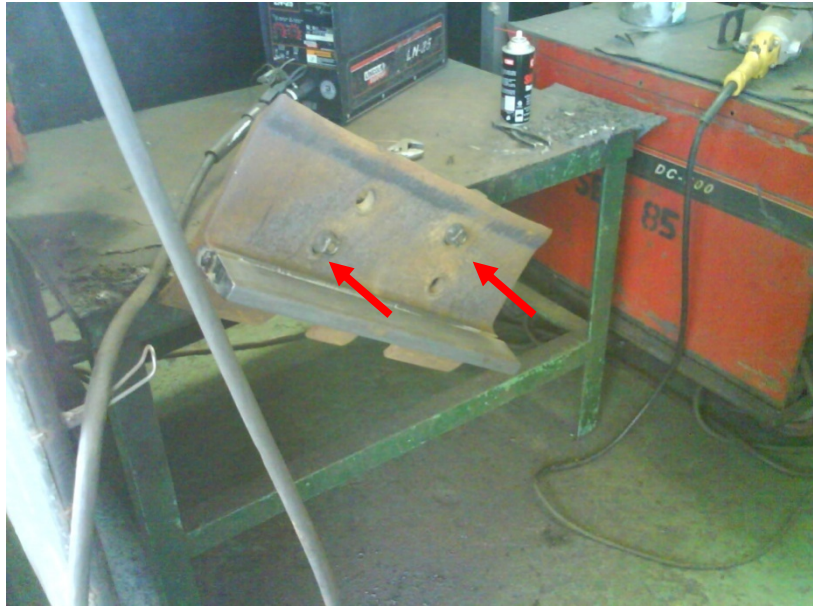


Figura 9. Aspecto del proceso de punteo y fondeo de las venas nuevas, zapata ajustada a la mesa por tornillos. Fuente: Taller Machine Shop Gecolsa.

1.2.3.1 Fondeo. El técnico monta la vena en la orilla de una mesa a través de un par de pernos que están adheridos a esta, montar la zapata en su sitio implica gastar 4.5 min, El proceso de fondeo se lleva a cabo realizando dos pasadas de los cordones de soldadura a cada lado de la vena nueva recién instalada, ambos en la misma dirección y dos a la vez. El tiempo que transcurre desde que el técnico inicia hasta que termina el segundo cordón es de 8.5 minutos.



Figura 10. Aspecto del proceso de fondeo en donde puede verse a un operario desatornillando los pernos de sujeción de la zapata para el proceso correspondiente a esta etapa. Fuente: Taller Machine Shop Gecolsa

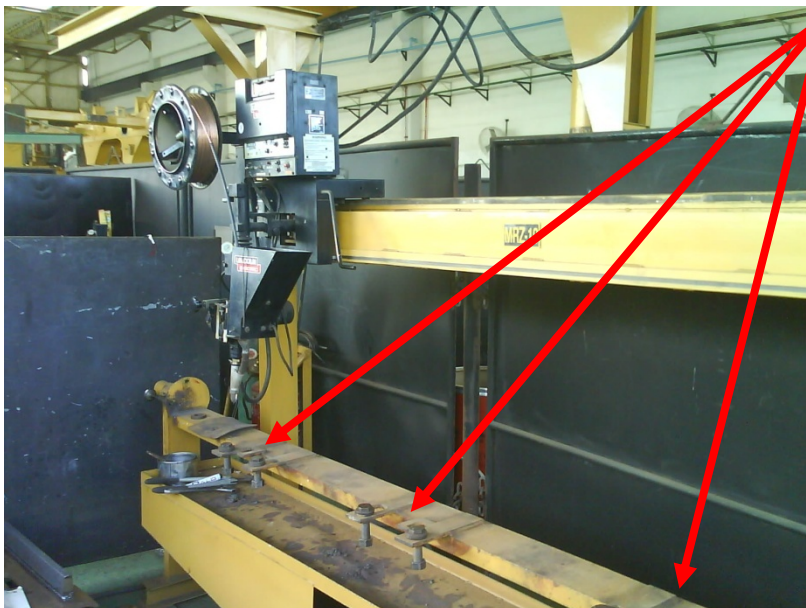
El técnico debe voltear manualmente la zapata para entonces poder aplicar el segundo par de cordones al otro lado de la vena; este proceso de voltear la zapata toma aproximadamente 2 minutos, una vez terminado esto se procede a desmontar la zapata de la mesa y se deja a disposición del compañero que realiza el relleno que se encuentra en otra mesa de trabajo próxima a él.

1.2.4 Soldadura de Relleno.

En esta etapa se toman del suelo una por una las zapatas para ser montadas con ayuda de dos (2) operarios, sobre la máquina para soldar TIPO rueda guía y que gracias a un acondicionamiento hecho por ingenieros de la empresa es utilizada para el proceso de soldadura SAW, en este proceso se usa un electrodo de alambre desnudo consumible continuo, proveniente de rollos de alambre del sistema SAW, el arco eléctrico se protege mediante una cobertura de fundente

granular, el alambre del electrodo se alimenta automáticamente desde un rollo hacia dentro del arco eléctrico. El fundente se introduce a la unión ligeramente delante del arco de soldadura mediante gravedad, desde un tanque alimentador. El fundente granular cubre por completo la operación de soldadura con arco eléctrico, evitando Chispas, salpicaduras y radiaciones que son muy peligrosas en otros procesos de soldadura por arco eléctrico. En esta máquina se montan simultáneamente tres zapatas. Las zapatas soldadas siguen a la sección de inspección y resane final.

1.2.4.1 Relleno. Este proceso se lleva a cabo con una máquina de soldadura de arco sumergido automática y la operación de un técnico que es quien instala 3 zapatas en el banco de la máquina (dado que esta lo permite) y prepara la máquina dándole los parámetros de operación y la ubicación correcta. La figura 11 muestra la máquina de soldadura SAW utilizada para la soldadura de relleno.



Ubicación de las zapatas en la máquina soldadora.

Figura 11. Etapa de soldadura por arco sumergido SAW. Fuente: Taller Machine Shop Gecolsa

En este proceso se realiza una sola pasada por cada lado de las zapatas y teniendo en cuenta que cada una dura 5 minutos las tres son 15 luego se gira la mesa y se realiza la pasada por el otro lado de la vena y serian 15 minutos.

En la figura 12 se muestra una soldadura de relleno desarrollada en un tramo en una zapata en recuperación.

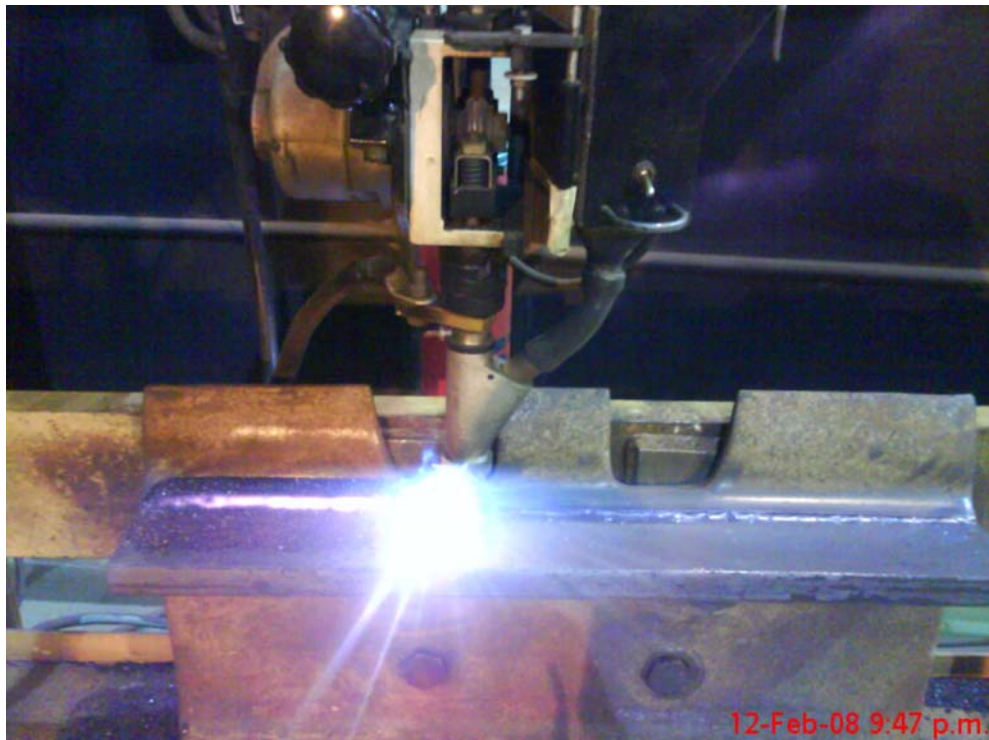


Figura 12. Aspecto de la aplicación de los cordones de relleno a las zapatas en recuperación. Fuente: Taller Machine Shop Gecolsa.

Las siguientes son las especificaciones del proceso de soldadura por arco sumergido:

- Tiempo de montaje: 120 seg.
- Tiempo del proceso de soldadura por zapata: 960 seg.
- Velocidad de reversa de corte: 12 cm/min.
- Tiempo de desmonte: 180 seg.

- Tiempo de enfriamiento
- Voltaje: 30 volt.
- Equipo: soldadura con arco sumergido saw (submerged arc welding).
- Tipo de recolección del fundente: por caída libre.
- Producción: de 9 zapatas por hora.

1.2.4.2 Resane y Alistamiento.

En esta etapa se toma una por una las zapatas para ser montadas con ayuda de dos (2) operarios, sobre etapa de ajuste con el fin de resanar y alistar cada una de las zapatas para su entrega, este resane se justifica porque al inicio y final de los cordones de soldadura de la etapa anterior quedan unos cráteres que hay que eliminar por relleno con soldadura de arco manual y además realizar un pulido final de los cordones. Esta etapa debe dejar cada zapata lista para el proceso de pintura.

Las siguientes son las especificaciones del proceso de soldadura.

- Montaje: 120 seg.
- Tiempo de resane: 960 seg.
- Desmontaje : 60 seg
- Producción de tres zapatas / hora, operario.

En la figura se presenta una zapata terminada en esta etapa y lista para continuar con el proceso de acabado final y pintura.



Figura 13. Etapa de resane y alistamiento. Fuente: Taller Machine Shop Gecolsa.

Todo este proceso de reconstrucción de zapatas fue creado con el ánimo de reducción de costos de mantenimiento para los diferentes clientes de la compañía que poseen uno o mas tractores de oruga, pero a la vez también la idea se vende desde la parte ambiental ya que es reutilizada la parte por lo menos dos veces.

2. SISTEMA ACTUAL DE MANTENIMIENTO.

GECOLSA, General de Equipos de Colombia S.A., ha permanecido en la representación de la marca de equipo pesado de mayor nivel tecnológico del mundo, logrando su consolidación como único Distribuidor Autorizado de Caterpillar para Colombia desde 1929.

Sus actividades primarias están dirigidas primordialmente a los sectores de Minería, Construcción, Industrial, *Agrícola* y Generación Eléctrica, mediante el suministro de productos y el apoyo técnico necesario dentro de un marco de alta tecnología y profesionalismo. Resultado de estas actividades de *mas de ocho décadas*, se ha logrado constituir la dimensión actual en la cual se ha confirmado como el mayor distribuidor de maquinaria pesada en Colombia de equipos Caterpillar, Grove, New Holland, entre otros.

Asi mismo la empresa se divide en los sectores para los diferentes departamentos siendo este proyecto sujeto al departamento de minería, como sigue:

- DIVISION MINERIA:

- Centro de reconstrucción de componentes (c.r.c)

- Taller de rectificaciones

- Taller de servicio

- Repuestos

- Taller de reconstrucción de rodajes y rectificaciones

Dentro de la división minería, existe el taller de reconstrucción de rodaje, donde vamos a desarrollar el estudio y análisis de modo de falla para el mantenimiento de las maquinas rectoras, enfocado en la reconstrucción de zapatas de tractores de oruga.

Inmerso de todos los departamentos se encuentra el departamento de mantenimiento encargado de brindar el soporte técnico a todas las áreas de la organización.

El ingeniero Johan Ordoñez encargado del proceso de reconstrucción de zapatas en el departamento de servicio, nos muestra el proceso como tal y además las

falencias en el mantenimiento, para mejorar las acciones correctivas mantenimiento preventivo , mantenimiento productivo.


2.1 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO REALIZADAS EN LA MAQUINA RECONSTRUCTORA DE ZAPATAS.

La reconstrucción de la zapatas es dividida en una serie de procesos así:

- Corte.
- Soldadura de punteo manual.
- Fondeo.
- Reconstrucción.


Para realizar estos procedimientos como fueron descritos anteriormente se describe a continuación las actividades actuales realizadas, en la tabla siguiente se encuentran consignados los parámetros de funcionamientos de la maquina


Tabla 1. Parámetros de funcionamientos.

Empresa:		GECOLSA		INVENTARIO	
Sección: Reconstrucción De Zapata					Hoja: 1 de 1
Cant.	Equipo	Marca	Característica	Código De MTO	
1	CORTE DE ZAPATA	VICTOR	Altura: 292 mm – 11.50 in Largo: 362 mm – 14.25 in Ancho: 279 mm – 11.00 in Largo De La Pistola: 724 mm – 28.5 in Longitud De Corte: Incremento de 72"(1829 mm) Diámetro Del Circulo: 4" a 96" (102 a 2438 mm) Rango de Velocidad: 1 a 60 ipm (25 a 1524 mmpm) Energía: 115 V .42 A 60 Hz, monofásico 220 V .23 A 60 Hz, monofásico Peso: Unidad del tractor sola: 30.5lbs (13.8Kg) Unidad del tractor con el equipo:37.5lbs(17Kg) Temperatura: 300°F	CZ-20	

En el mismo documento se encuentran las actividades de inspección a realizar para obtener los parámetros, como sigue:

Tabla 2. Actividades a ejecutar.

Empresa:		GECOLSA 	Codificación
Sección: Reconstrucción De Zapata			Hoja 1 de 2
Código De Equipo	Actividad	Parte	Código De MTTO
CZ-20	MECÁNICO	Engrase el tren de engranes y el agujero de embragues cada 500 horas	CZ-20-101
		Inspeccionar el tren de engranajes y sustituir las piezas desgastadas.	CZ-20-102
		Engrasar el disco impulsor con una grasa que contenga el disulfuro de molibdeno tal como EM lubricantes ME-62 o equivalentes.	CZ-20-103
		Examinar todas las conexiones de gas, si hay fuga reemplazar.	CZ-20-104
		Limpieza general de todas las partes de la maquina como son el soporte, la boquilla y toda la superficie de la pista	CZ-20-105
		Cambiar escobillas	CZ-20-106
		Chequear el motor del carro	CZ-20-107
	ELÉCTRICO	Limpieza de los controles de carro	CZ-20-201
		Inspeccionar el cable eléctrico si hay aislamiento o signos de desgaste cambiar.	CZ-20-202
		Limpieza de los componentes eléctricos	CZ-20-203
		Limpiar todos los contactos de los contactores.	CZ-20-204
		Examine todas las mangueras y el cable eléctrico para ver si hay muestra de deterioro, si hay sustituir.	CZ-20-205

Empresa:		GECOLSA 	Codificación
Sección: Reconstrucción De Zapata			Hoja 2 de 2
Código De Equipo	Actividad	Parte	Código De MTTO
CZ-20	OPERARIO	Limpieza general de la maquina antes y después de operar.	CZ-20-301
		Inspeccionar la palanca de mando a la posición FREE. Compruebe si la maquina se mueve fácilmente a lo largo de la pista.	CZ-20-302
		Inspeccionar el interruptor FWD-OFF-REV en la posición OFF. Girar la perilla de velocidad a 1 ipm. Enchufe el cable de energía a 115V, 60Hz.	CZ-20-303
		Inspeccionar el interruptor FWD-OFF-REV en la posición FWD. Con la palanca de embrague en la posición FREE. Avance lentamente la perilla de velocidad a 60 imp. El nivel de ruido debe aumentar mientras que se avanza la perrilla.	CZ-20-304
		Inspeccionar la palanca de embrague en la posición DRIVE y colocar el interruptor en FWD. Si el mecanismo de embrague se acopla correctamente, la maquina se moverá a lo largo de la pista. Mover el interruptor a la posición REV y verificar la dirección contraria.	CZ-20-305
		Revisar que las boquillas, que se puedan mover hacia arriba y hacia abajo con las perillas de ajuste y que el tornillo mantenga su posición	CZ-20-306
		Cambio de boquillas	CZ-20-307
	INTERNO	Pintura general	CZ-20-401

Todas estas actividades como se indican son realizadas en combinación de los equipos de mantenimiento y producción registradas en la diferentes OT, se realiza una tabulación de la ordenes preventivas y correctivas generadas en el año 2010.

Tabla 3. Disponibilidad equipo reconstructora de zapatas.

MARCA	EQUIPO														PROMEDIO ANUAL POR EQUIPO
		Jun-10	Jul-10	Ago-10	Sep-10	Oct-10	Nov-10	Dic-10	Ene-11	Feb-11	Mar-11	Abr-11	May-11	Jun-11	
Lincoln electric	MAQUINA MIG LN25 FONDEO	99,72%	99,73%	99,73%	99,77%	99,53%	99,51%	99,72%	99,66%	99,70%	99,73%	99,63%	99,70%	99,76%	99,68%
Lincoln electric	MAQUINA MIG LN25 BASTIDOR	99,72%	99,60%	-	-	-	99,72%	99,82%	99,79%	99,70%	99,76%	99,70%	99,58%	99,72%	99,71%
Lincoln electric	MAQUINA PARA RECONSTRUCCION DE ZAPATAS	99,44%	99,26%	99,56%	99,61%	99,73%	99,72%	94,58%	99,73%	99,70%	99,73%	99,33%	99,73%	99,63%	99,21%
	MAQUINA PARA CORTE DE ZAPATAS	99,72%	99,66%	99,73%	99,79%	99,73%	99,79%	99,86%	99,73%	99,70%	99,73%	99,70%	99,87%	99,70%	99,75%
PROMEDIO DE EQUIPOS AL MES		99,93%	99,80%	99,93%	99,86%	99,40%	99,86%	99,90%	99,80%	99,85%	99,90%	99,68%	99,52%	99,92%	

En la estructura actual de mantenimiento todas las actividades realizadas son basadas en las recomendaciones del fabricante y en la experiencia adquirida en años de operación, el análisis de modos de fallas y sus efectos es una muy buena herramienta para realizar un análisis de la falla y a la vez brinda ayuda para replantear si las actividades preventivas realizadas están enfocadas de manera eficiente.

3. INTRODUCCION AL ANALISIS DE FALLA EN MANTENIMIENTO.

Los sistemas mantenimiento hoy en día, han tomado conciencia de las distintas preocupaciones del ser humano en cuando al cuidado del medio ambiente, de igual manera, no se ha dejado a un lado el cuidado de la seguridad del personal encargado de realizar las labores de mantenimiento; esto ha traído como consecuencia, el uso de una mayor tecnología para la realización de los diferentes procesos en las empresas. Por su parte, el personal de mantenimiento se encuentra continuamente frente al cambio, debiendo adoptar nuevas formas de pensamiento, viéndose obligado a tener un perfil tanto de ingeniero como de gerente.

En el ámbito actual del mantenimiento la organización de las tareas se maneja en forma táctica las cuales tratan de organizar, ejecutar y administrar en forma coherente, lógica y sistémica las actividades de mantenimiento. Existen diferentes tácticas de entre las que sobresalen internacionalmente el TPM, RCM, PMO, Proactiva, Clase Mundial, etc. En el ámbito nacional las tácticas más utilizadas en las grandes industrias son el RCM y el TPM o una combinación de ambos. Procesos establecidos en los programas de Mantenimiento Preventivo (PM) , que involucran algunas técnicas del TPM, RCM y PMO, para mejorar la productividad de la organización, basado en el estado real de la maquinaria y su historial de fallas, utilizando la estadística, las cuales son una poderosa herramienta de apoyo en la toma de decisiones gerenciales. También permite poner en funcionamiento nueva maquinaria a gran velocidad, seguridad y precisión.

Frente a la avalancha de cambios mencionada anteriormente, el personal que dirige el mantenimiento está buscando nuevos caminos. Trata de encontrar un marco teórico que sintetice los nuevos avances.

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad y por ende el Análisis de Modos de Falla y sus Efectos introduce una filosofía que provee justamente ese esquema de trabajo. Si este se aplica correctamente transforma la relación del personal

involucrado, la planta en sí misma, y el personal que tiene que hacerla funcionar y mantenerla.

3.1 ESTUDIO DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS.

3.1.2 Enfoque Sistémico.

Un sistema es un arreglo ordenado de componentes que se interrelacionan entre ellos mismos y con componentes externos, con otros sistemas o con operadores humanos para desempeñar algunas funciones previstas. Desde este punto de vista una planta de proceso, una sección, una máquina o parte de una máquina puede ser considerado como un sistema.

3.1.3 Misión del sistema.

Cualquier sistema es construido para cumplir una misión determinada. La función es la misión del sistema y sintetiza la tarea, el propósito y el fin de un sistema y componente. La misión del sistema representa el conjunto de estados del mismo, en el medio ambiente en el que se desempeña y en el tiempo que da lugar a todas y cada una de las etapas o fases de la misión.

3.1.4 Componentes.

El componente es la unidad básica del sistema, siendo su definición relativa: lo que es un componente para un análisis, puede ser un sistema en otro análisis. Un componente está en estado normal si y solo si no está en estado de falla, lo que indica la necesidad de definir los modos de fallas de los sistemas.

Los componentes críticos contribuyen decisivamente del sistema total. La criticidad del componente es función de su aplicación.

3.1.5 Efectividad de los sistemas.

Es la capacidad del mismo para desempeñar la función para la cual fue construido. Se expresa en términos de “confiabilidad”, que se define como *la probabilidad de que un sistema pueda desempeñar su función en un tiempo dado y funcionando en determinadas condiciones*. La efectividad de un sistema es función del resultado integral de los procesos de diseño, construcción, operación y mantenimiento.

3.1.6. La confiabilidad.

Se define la confiabilidad como la probabilidad de que el sistema tome u ocupe cualesquiera de los estados significantes durante la misión especificada y realice las funciones asociadas a dichos estados.

La confiabilidad puede expresarse en tres términos:

- La maquina tendrá una posibilidad de que opere correctamente igual al 95% en el tiempo de la misión de 1.5 horas.
- La baterías tendrán una tasa de falla del 1 % durante la garantía de un año
- El tiempo promedio entre fallas de la maquina será mayor a 300 horas.

La confiabilidad de un sistema es una función de la confiabilidad de los diversos subsistemas y componentes que lo integran.

3.1.7 Factores que afectan la confiabilidad de los sistemas.

Para calcular la confiabilidad de los sistemas se requiere verificar integralmente su origen desde el diseño hasta la operación y mantenimiento del mismo. En ese orden de ideas, para mejorar la confiabilidad de un sistema se pueden desarrollar las siguientes estrategias:

- Mejorar el diseño de los componentes.
- Simplificar el diseño de los componentes.
- Mejorar las técnicas de producción.

- Asegurar la calidad de los componentes.
- Probar los componentes y el sistema.
- Instalar sistemas paralelos.
- Mantenimiento preventivo periódicos.
- Monitorear los componentes y/o los sistemas.
- Revisar si el indicador escogido es el más indicado.
- Revisar la función de todos los componentes para eliminar los innecesarios.
- Sospechar de los componentes nuevos.
- Utilizar componentes normalizados.
- Investigación y desarrollo para la optimización de componentes críticos.
- Sustituir componentes críticos antes de que fallen.
- Verificar condiciones de diseños contra condiciones de operación.

3.2 FUNCIONES.

3.2.1 Descripción de funciones.

Los usuarios no solo esperan que el activo físico cumpla una función. También esperan que lo haga con un nivel de funcionamiento aceptable. Entonces la definición de función y por ende la definición de los objetivos de mantenimiento para ese activo físico, no está completa a menos que se especifique el nivel de funcionamiento deseado por el usuario tan precisamente como le sea posible. Por ejemplo, la función primaria de la bomba de la figura 14 puede ser enunciada de la siguiente manera:

- Bombear agua del tanque 1 al tanque 2 a no menos de 213 metros cúbicos hora.

Este ejemplo muestra una descripción completa de una función que consiste de un verbo, un objeto y el parámetro de funcionamiento deseado.

*Capacidad inicial vs
Funcionamiento deseado*

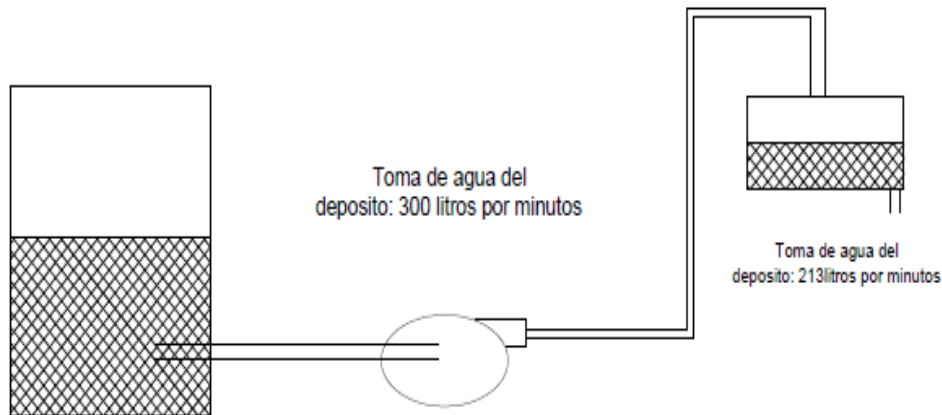


Figura 14. Función primaria de la bomba.

3.2.2 Parámetros de funcionamiento.

El objetivo del mantenimiento es asegurarse de que los activos físicos continúen haciendo lo que los usuarios quieren que hagan. Esto se define como un parámetro mínimo de funcionamiento. Si se pudiera construir una máquina capaz de rendir este funcionamiento mínimo sin deteriorarse. La máquina funcionaría continuamente sin necesidad de mantenimiento. Sin embargo el mundo real no es tan simple. Cualquier sistema organizado se deteriora. El resultado final de este deterioro es la desorganización total, a menos que se tomen acciones para frenar el proceso que este causando el deterioro del sistema.

Por ejemplo, la bomba de la figura 14 esta bombeando agua hacia un tanque del que el agua esta siendo retirada a razón de 213 metros cúbicos por hora. Un proceso que causa el deterioro de la bomba es el desgaste del impulsor. Esto sucede sin importar si esta bombeando acido o aceite lubricante, y sin que influya si el impulsor esta hecho de titanio o de acero. La única pregunta es en que tiempo se deteriorara al punto de no poder enviar 213 metros cúbicos por hora. Esto significa que cuando cualquier activo físico es puesto en funcionamiento debe

ser capaz de rendir más que el parámetro mínimo deseado por el usuario. Lo que el activo físico es capaz de rendir es conocido como capacidad inicial, mostrado en la siguiente figura.

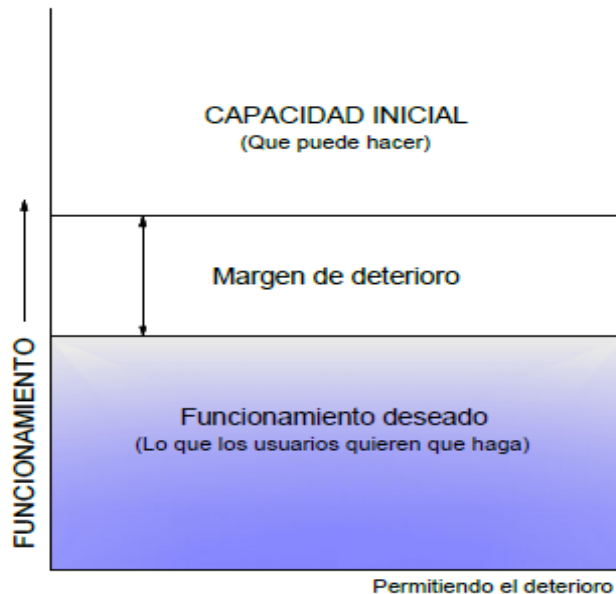


Figura 15. Relación entre el funcionamiento y la capacidad.

Esto significa que el funcionamiento puede ser definido de dos maneras:

- Funcionamiento deseado (lo que el usuario quiere que haga).
- Capacidad Inherente (lo que puede hacer).
-

El mantenimiento ayuda a asegurar que los activos físicos continúen cumpliendo sus funciones. Ya sea asegurando que su capacidad siga superando los parámetros mínimos deseados por el usuario, o restituyendo la capacidad a un punto cercano a la inicial si baja de este punto.

En la práctica la mayoría de activos físicos son correctamente contruidos y diseñados, por lo que frecuentemente es posible desarrollar programas de mantenimiento que aseguren que estos activos físicos continúen haciendo lo que los usuarios quieren que hagan, mostrado en la figura 15.

Contrastando con los parámetros de funcionamientos variables, algunos sistemas muestran capacidad variable. Estos sistemas no pueden llegar a funcionar exactamente según el mismo estándar cada vez que operan. Por ejemplo, una rectificadora utilizada para dar terminación a un cigüeñal no producirá exactamente el mismo diámetro en cada bancada de cojinete, estos diámetros variarían aunque solo sea una micrones.

Con el objetivo de acortar esta variabilidad, a los parámetros de funcionamiento deseados se incorpora un límite superior y otro inferior. Los límites de funcionamiento deseados se conocen como límites de especificación superior e inferior. Los límites de capacidad del proceso son conocidos como límites de control superior e inferior. Los límites superiores e inferiores también se aplican a especificaciones funcionales tales como precisiones de los indicadores, configuración de sistemas de control, y dispositivos de protección, en la siguiente figura 16.

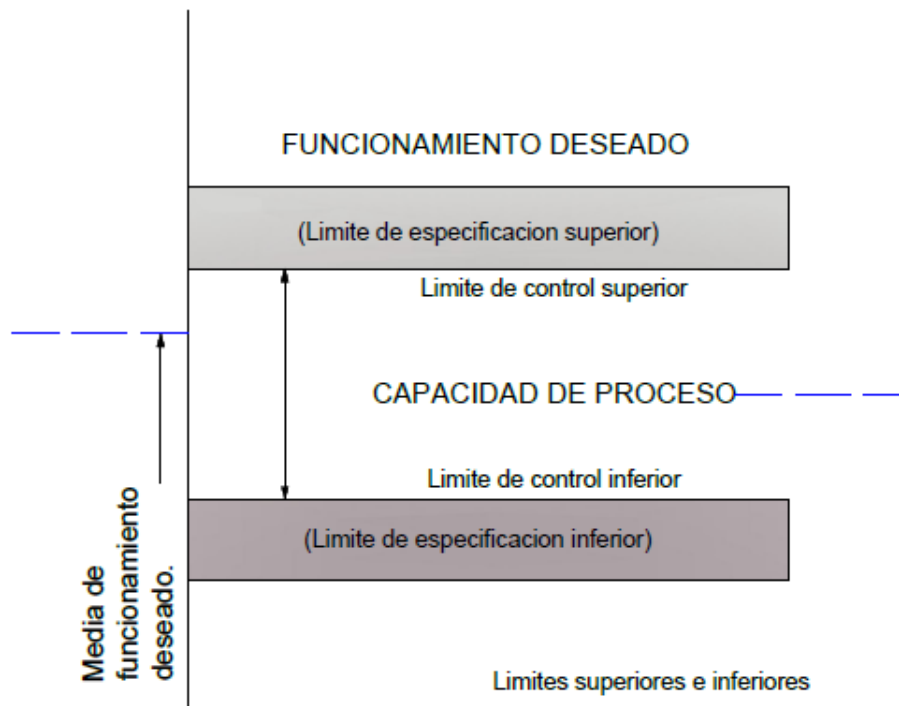


Figura 16. Relación entre los límites de funcionamiento y la capacidad

3.2.3 El contexto operacional.

Es el proceso utilizado para determinar los requisitos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional. El contexto afecta a todo el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento, comenzando por la definición de funciones.

El contexto operacional también influencia profundamente los requerimientos para las funciones secundarias, afectando este también la naturaleza de los patrones de falla que puedan ocurrir, sus efectos y consecuencias, la periodicidad con la que pueden ocurrir y que debe hacerse para manejarlos.

Cualquiera que comience a aplicar RCM a cualquier activo físico debe asegurarse de tener un claro entendimiento del contexto operacional antes de comenzar.

Alguno de los factores importantes que debe ser considerado son:

- Si el activo físico es parte de un proceso continuo o por lotes.
- La presencia de redundancia o modos de producción alternativa.
- Los parámetros de calidad que se requieren del producto terminado.
- El contexto operacional y los estándares ambientales.
- Riesgos para la seguridad.
- Turno de trabajo
- Volúmenes de almacén de producto terminado y de trabajo en proceso.
- Tiempo de reparación.
- Políticas de repuesto en almacén.
- Tendencias y fluctuaciones estacionales en la demanda del mercado, y/o el ingreso de materia prima.

3.2.4 Diferentes tipos de funciones.

Todo activo físico tiene más de una función, frecuentemente tiene varias. Si es objetivo del mantenimiento es asegurarse de que continúen realizando estas funciones, entonces todas ellas deben ser identificadas junto con los parámetros de funcionamiento deseados.

Las funciones se de dividen en dos categorías principales (funciones primarias y secundarias) luego divididas seguidamente en varias subcategorías.

Funciones principales: las organizaciones adquieren activos físicos por una o más razones. Estas “razones” son definidas por la enunciación de funciones adecuadamente formuladas se conoce como “funciones principales” por ser la razón principal por la que es adquirido el activo físico. Por ello se debe cuidar de definir las tan precisamente como sea posible.

Las funciones principales son generalmente fáciles de reconocer. De hecho el nombre de la mayoría de los activos físicos industriales se basan en su función primaria.

El desafío real está en definir las expectativas de funcionamiento asociadas a las funciones. Para la mayoría de los diferentes equipos los parámetros de funcionamiento asociados a las funciones primarias tienen que ver con velocidad, volumen y capacidad de almacenamiento. La calidad del producto también debe ser considerado en esta punto.

Funciones secundarias: se pretende que los activos físicos cumplan una o más funciones adicionales además de la primaria. Estas se conocen como funciones secundarias.

Aunque las funciones secundarias son usualmente menos obvias que las primarias, la pérdida de un función secundaria puede tener serias consecuencias, a veces hasta más serias que la pérdida de una primaria. Como resultado, las funciones secundarias frecuentemente necesitan tanto o más mantenimiento que las primarias.

Debe tener un especial cuidado para identificar las funciones de los dispositivos de protección. Estos trabajan de una de estas cinco maneras:

- Llamar la atención a los operadores ante condiciones anormales.
- Detener el equipo ante una eventual falla.
- Eliminar o aliviar condiciones anormales que se dan después de una falla.
- Tomar el control de una función que ha fallado.
- Prevenir que sucedan situaciones peligrosas desde un comienzo.

3.3 FALLAS FUNCIONALES

Como se mencionó anteriormente, las personas y las organizaciones adquieren activos físicos porque quieren que realicen una tarea y también esperan que cumplan sus funciones en relación con ciertos parámetros aceptables de funcionamiento. Sin embargo, si por alguna razón es incapaz de hacer lo que el usuario desea, este considerara que ha fallado.

También se ve que cada activo tiene más de una función, por lo tanto al ser posible que cada una de estas falle, se deduce que cualquier activo físico puede tener una variedad de estados diferentes. Por ejemplo, la bomba en la figura tiene al menos dos funciones. Una es la de bombear agua a no menos de 800 litros por minuto y la otra es contener el agua. Es perfectamente posible que dicha bomba sea capaz de bombear la cantidad requerida (no hay falla en la función primaria) a la vez que pierde liquido (falla en la función secundaria).

Esto muestra porque es más preciso definir una falla en términos de “perdida de una función específica” y no con la “falla del activo como un todo”. También muestra por que el proceso del RCM utiliza el término de “falla funcional” para describir estados de falla y no a la falla por si sola. Sin embargo para completar la definición de falla, debemos también estudiar el tema de los parámetros de funcionamiento.

3.3.1 Parámetros de funcionamiento y fallas.

Los límites entre las condiciones satisfactorias y las fallas están especificadas por un parámetro de funcionamiento. Dado que este aplica a funciones individuales, se puede definir una falla funcional como:

“la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario”

3.3.2 Falla total y parcial.

La definición citada anteriormente de una falla funcional se refiere a una perdida total de la función. También abarca situaciones en las que el comportamiento funcional queda al margen de los límites admisible.

Una pérdida parcial de una función casi siempre proviene de modos de falla diferentes de los que provienen una pérdida total, y la consecuencias casi siempre son diferentes.

Por esta razón deben registrarse todas las fallas funcionales asociadas a cada función.

3.3.3 Límites superiores e inferiores.

Los parámetros de funcionamiento asociados a algunas funciones incorporan límites superiores e inferiores. Dichos límites significan que el activo físico ha fallado si produce productos que están por encima del límite superior, o por debajo del inferior.

En este caso deben ser identificados por separados ya que los modos de falla y las consecuencias asociadas son diferentes para ambos límites.

En la práctica los estados de falla asociados a los límites superiores e inferiores pueden manifestarse de dos maneras. En primer lugar, el rango de capacidad podría ir más allá de los límites de especificación solo en una dirección, como lo muestra la figura 16.

Se nota que en ambos casos no todos los productos producidos por el proceso en cuestión habrán fallado. Si la ruptura del límite es menor, solo será producido un pequeño porcentaje de producto que esta fuera de especificación. Sin embargo, cuanto más alejado del centro este el grupo en el primer caso, o cuanto más amplio sea el rango en el segundo caso, mas porcentajes de falla habrá.

3.4. ANALISIS DE MODO DE FALLAS Y SUS EFECTOS.

Al definir las funciones y los parámetros de funcionamiento permite determinar exactamente que se quiere decir con “falla”. Estos dos temas son considerandos por las primeras dos preguntas básicas del RCM.

Las próximas dos preguntas buscan identificar los modos de falla que probablemente causen cada falla funcional, y determinar los efectos de falla

asociados a cada modo de fallas. Esto se realiza a través de un análisis de modos de falla y su efecto para cada falla funcional.

3.4.1 ¿Qué es un modo de falla?

Un modo de falla podría ser definido como cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico (sistema o proceso). Sin embargo, anteriormente se mostró que es vago y simplista aplicar el término “falla” a un activo físico de manera general. Es mucho más preciso distinguirse entre “una falla funcional” (un estado de falla) y un “modo de falla” (un evento que pueda causar un estado de falla).

Esta distinción lleva a la definición más precisa de un modo de falla:

“un modo de falla funcional es cualquier evento que causa una falla funcional”

La mejor manera de mostrar conexión y la diferencia entre estados de falla y los eventos que podrían causar los es, primero, hacer un listado de fallas funcionales, y luego registrar los modos de fallas funcionales, y luego registrar los modos de falla que podrían causar cada falla funcional.

La descripción del modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo. La descripción debe contener los detalles suficientes para poder seleccionar una estrategia de manejo de falla apropiada.

3.4.2 ¿Por qué analizar modos de falla?

Una máquina puede fallar por diversos motivos. Un grupo de máquinas o un sistema como una línea de producción pueden fallar por cientos de razones. La mayoría de los gerentes se estremecen ante la idea del tiempo y el esfuerzo involucrado en todos estos modos de falla. Muchos deciden que este tipo de análisis es demasiado trabajoso, y abandonan la idea por completo. Al hacerlo estos gerentes pasan por alto el hecho de que en el día a día el mantenimiento es realmente manejado a nivel de modo de falla, por ejemplo:

- Las ordenes de trabajo o pedidos de trabajo surgen para cubrir modos de fallas específicos.
- El planeamiento del mantenimiento día por día trata de hacer planes para abordar modos de fallas específicos.
- En la mayoría de empresas industriales el personal de mantenimiento y operaciones tienen reuniones cada día. Las reuniones casi siempre consisten en discusiones acerca de lo que ha fallado, que las causo, quien es responsable, que está haciendo para reparar el problema y a veces, que puede hacerse para prevenir que vuelva a suceder. Entonces casi toda la reunión se destina a hablar acerca de los modos de falla.
- En gran medida, los sistemas de registro del historial técnico registran modos de falla individuales.
- En gran medida, los sistemas de riesgo del historial técnico registran modos de falla individuales.

En la mayoría de estos casos, estos modos de falla son discutidos, registrados, y manejados luego de haber ocurrido.

Tratar fallas después que hayan ocurrido es por supuesto la esencia del mantenimiento correctivo. Por otro lado el mantenimiento preventivo significa manejar los eventos antes de que ocurran, o al menos decidir como deberán ser manejados si llegan a ocurrir. Los “eventos” en estos contextos son los modos de fallas. Entonces si se desea realizar mantenimiento verdaderamente preventivo a cualquier activo físico, se debe tratar de identificar todos los modos de fallas que pudieran afectarlo. El ideal sería poder identificar antes de que ocurriesen, o si esto no es posible, al menos antes de que vuelva a ocurrir.

Una vez que cada modo de falla sea identificado, entonces es posible considerar que sucede cuando ocurre, evaluar las consecuencias y decidir si algo deberá hacerse para participar, prever, detectar, corregir o hasta diseñar. Entonces el

proceso de selección de tareas de mantenimiento, y gran parte del manejo de estas tareas es llevado a cabo a nivel de modo de fallas.

La identificación de los modos de fallas es uno de los pasos más importantes en el desarrollo de cualquier programa que pretenda asegurar que el activo físico, su contexto operacional y el nivel al que está siendo analizado, se registran entre uno y treinta modos de falla para cada falla funcional.

3.5 EFECTOS DE FALLAS.

El cuarto paso del RCM consiste en hacer una lista de lo que de hecho sucede al producirse cada modo de falla. Esto se denomina efecto de falla.

La descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas. Concretamente, al describir los efectos de una falla, debe hacerse constar lo siguiente:

- La evidencia (si las hubiera) de que se ha producido una falla.
- En qué forma (si la hay) la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- Las maneras (si las hubiera) en que afecta la producción o las operaciones.
- Que debe hacerse para reparar la falla.

Si se hace esto correctamente, no se puede empezar suponiendo que se está realizando ya algún tipo de mantenimiento preventivo; por ello los efectos de la falla deben describirse como si no se estuvieran haciendo nada para impedirlos.

3.5.1 Fuentes de información acerca de modo y efectos.

Al considerar donde se puede obtener la información necesaria para armar un AMFE (análisis de modo de falla y sus efectos) completo, se debe recordar que hay que ser preventivo.

Esto significa que debe darse tanto énfasis a lo que podría ocurrir como a lo que ha ocurrido. Las fuentes de información más comunes son las siguientes:

El fabricante o proveedor del equipo. Al llevarse a cabo este tipo de análisis la primera fuente de información que se debe venir a la mente es el fabricante. Sobre todo en el caso de productos nuevos. Sin embargo este tipo de información tiene sus limitaciones ya que estos rara vez se encuentran involucrados en la operación cotidiana del equipo.

También se tienen que tener en cuenta otros usuarios de la misma maquinaria, ya que estos son una fuente de información obvia y muy valiosa acerca de lo que puede fallar en activo físicos comúnmente utilizados.

Los registros de antecedentes técnicos son también una fuente de información valiosa. Sin embargo, deben ser tratados con cautela ya que frecuentemente son incompletos, a menudo describen lo que fue echo para reparar la falla en vez de lo que la causo.

Las personas que mantienen y operan el equipo son la mejor fuente de operación para preparar un AMFE, ellos tienden a conocer más acerca del funcionamiento del equipo, acerca de que puede suceder, qué importancia tiene cada falla y que debe hacerse para repararlo.

4. REGISTRO DE LAS FUNCIONES, MODOS DE FALLAS Y SUS EFECTOS EN MAQUINA RECONSTRUCTORA DE ZAPATAS.

A partir de las apreciaciones hechas anteriormente se analizaron los modos de falla y sus efectos en la maquina reconstructora de zapatas tomándolo como un todo y discriminándolo en los sistemas que lo componen, las funciones que estos desempeñan las fallas que pueden afectar el cumplimiento de la función y los modos de esta y los efectos de producen.

Siendo esta información registrada en un formato en el cual se puede visualizar de manera concisa la función del sistema, sus fallas, modos y efectos.

Como primera medida se debe realizar un listado de las funciones principales para el funcionamiento del equipo, y a su vez identificando a cada subsistema y su función, los elementos que conforman el sistema maquina reconstructora de zapatas se describen a continuación:

- Corte Automático por flama
- Proceso de corte por flama.
- Reconstrucción automática.
- Sistema de Movimiento Horizontal.
- Reconstrucción Manual (fundeo).

Basados en esta clasificación anexo 1 se encuentra los formatos realizados según la metodología del RCM y John Mobray máxima autoridad en el tema.

4.1 BENEFICIOS A CONSEGUIR.

Esta información servirá como paso preliminar para la futura implementación de RCM en este equipo piloto, el cual deberá ser sometido a otras actividades

dictadas por esta herramienta de mantenimiento preventivo como son las tareas preventivas, basándose esta es la información anteriormente documentada, buscando los siguientes beneficios.

4.2 MAYOR SEGURIDAD Y PROTECCIÓN DEL ENTORNO.

- Mejoramiento en el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes.
- La disposición de nuevos dispositivos de seguridad.
- La revisión sistemática de las consecuencias de cada falla antes de considerar la cuestión operacional.
- Clases estratégicas para prevenir los modos de falla antes de considerar la cuestión operacional.
- Menos fallas causadas por un mantenimiento innecesario.

4.3 MEJORES RENDIMIENTOS OPERATIVOS

- Un mayor énfasis en los requisitos de mantenimiento de elementos y componentes críticos.
- Un diagnóstico más rápido de las fallas mediante la referencia a los modos de falla relacionados con la función y a los análisis de sus efectos.
- Intervalos más largos entre las revisiones, y en algunos casos la eliminación completas de ellas.
- Lista de trabajadores de interrupción más cortas, que llevan a paradas más cortas, más fáciles de solucionar y menos costosas.
- Eliminación de los elementos superfluos y como consecuencias las fallas inherentes en ellos.
- Un conocimiento sistemático acerca de la planta.

4.4 MAYOR CONTROL DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO.

- Menor mantenimiento rutinario innecesario.
- Mejor comprar de los servicios de mantenimiento (motivada por el énfasis sobre las consecuencias de las fallas).
- Unas políticas de funcionamiento más claras, especialmente en cuanto a los equipos de reserva.
- Menor necesidad de usar personal experto caro porque todo el personal de mantenimiento tiene mejor conocimiento de la planta.
- Pautas más claras para la adquisición de nueva tecnología de mantenimiento, tal como equipos de monitorización de la condición.

4.5 MÁS LARGA VIDA ÚTIL DE LOS EQUIPOS.

- Debido al aumento del uso de las técnicas de mantenimiento “a condición”

4.6 UNA AMPLIA BASE DE DATOS DE MANTENIMIENTO.

- Reduce los efectos de la rotación del personal con la pérdida consiguiente de su experiencia y competencia.
- Proveer un conocimiento general de la planta más profundo en su contexto operacional.
- Hace posible la adaptación a circunstancias cambiantes (tales como nuevos horarios de turno o nueva tecnología), sin tener que considerar desde el principio todas las políticas y programas de mantenimiento.
- Conduce a la realización de planos y manuales más exactos.

4.7 MAYOR MOTIVACIÓN DE LAS PERSONAS.

Esto se da específicamente en el personal que está interviniendo en el proceso de revisión. Llevando a un conocimiento general de la planta en su contexto operacional mucho mejor, junto con un “compartir” mas amplio de los problemas del mantenimiento y de sus soluciones, significando también que las soluciones tienen mayor probabilidad de éxito.

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

CONCLUSIONES

Es importante considerar que la productividad de una industria aumentará en la medida que las fallas en las máquinas disminuyan de una forma sustentable en el tiempo. Para lograr lo anterior, resulta indispensable contar con la estrategia de mantenimiento más apropiada y con personal capacitado tanto en el uso de las técnicas de análisis y diagnóstico de fallas implementadas como también con conocimiento suficiente sobre las características de diseño y funcionamiento de las máquinas.

Toda Falla deja unas pistas que permiten encontrar su origen. El diseñador debe conocer muy bien las teorías de las fallas a fin de interpretar adecuadamente estas pistas.

Toda máquina tiene sus niveles normales de ruido, vibración y temperatura. Cuando se observe algún aumento anormal de estos niveles, se tienen los primeros indicios de que hay alguna falla. Los operarios de las máquinas deben ser instruidos para que avisen al detectar estos síntomas que presenta la máquina.

El análisis de modos de falla y sus efectos realizado brinda una herramienta excepcional en la búsqueda, análisis y determinación de los síntomas mencionados ayudando así a una solución en menor plazo del falla elemental o sistémica que se este presentando.

Se obtiene entonces un análisis de modos de falla y sus efectos a partir del estudio del estado de funcionamiento del sistema. Recopilándose esta información en un formato para su mejor visualización, entendimiento y aprovechamiento del personal del mantenimiento y producción de la empresa.

BIBLIOGRAFIA

- Duffa, Salih; Raouf, A; Sistemas de Mantenimiento, Planeación y Control; Limusa Wiley edi; Primera edición 1995.
- Perez Carlos Mario; Gerencia del Mantenimiento – sistemas de información; Soporte y Cia Ltda. Colombia, 2003.
- Moubray, John; Reliability Centered Maintenance; Industrial Press Inc. 200 Avenue New York, NY; second edition 1997.
- Caterpillar Service Manual, 2000.

ANEXOS.

ELEMENTO: corte automático por flama		Realizado por: ALEJANDRO CASTRO ALEX NIETO		Fecha: Abril – Mayo 2011		Hoja : 1	
COMPONENTE: carro soporte de desplazamiento		Revisado: ING. JOHAN ORDOÑEZ		Fecha: Mayo 2011		De: 1	
Funcion	Fallo funcional	Modo de falla	Efecto de la falla				
1. Posicionar soplete para el corte de la zapata.	A	Falla de cremallera de brazo	1	<p>No se puede posicionar el soplete para realizar el corte</p> <p>El soplete no se puede ajustar a la profundidad efectiva para realizar el corte de la vena de la zapata realizando un corte no parejo en la pieza, La reparación dura 15 Min.</p>			
	B	Falla en tornillos de ajuste del brazo.	1				

ELEMENTO: corte automático por flama		Realizado por: ALEJANDRO CASTRO ALEX NIETO		Fecha: Abril – Mayo 2011	Hoja: 1
COMPONENTE: carro soporte de desplazamiento		Revisado: ING. JOHAN ORDOÑEZ		Fecha: Mayo 2011	De: 2
Funcion	Fallo funcional	Modo de falla	Efecto de la falla		
1. Desplazar el soplete a lo largo de la estructura para realizar corte en las diferentes zapatas.	C Falla en el desplazamiento sobre la guía.	1 Obstrucción del riel.	No se mueve el carro soporte , no realizando corte de zapatas , se hace limpieza a riel : 15 Min		
		2 Suciedad (escoria, pedazo de metal suelto).	Se disminuye velocidad de corte del carro ocasionado recalentamiento en la zapata.		
		3 No se mueve carro	Verifique la alimentación de voltaje, duración 15 MIN ò llamar a mantenimiento.		
	D Falla en alineación guía carro soporte zapata.	1 Mal alineamiento en el soporte de la zapata.	Por no estar alineado con el soporte de la zapata se produce corte no tangencial a lo largo de la misma, se ajusta el tornillo de fijación del soporte de la zapata y se limpia la estructura donde descansa la misma.		
		2 Defecto de alineación en la guía del carro	Debido al desgaste en largas jornadas de trabajo se produce des alineamiento para hacer corte de zapatas.		

ELEMENTO: Proceso de corte por flama		Realizado por: ALEJANDRO CASTRO ALEX NIETO		Fecha: Abril – Mayo 2011	Hoja : 1
COMPONENTE: soplete flama Lincoln		Revisado: ING. JOHAN ORDOÑEZ		Fecha: Mayo 2011	De: 3
Funcion	Fallo funcional	Modo de falla	Efecto de la falla		
1. Realizar la mezcla de los gases combustibles para producir la flama (oxigeno y acetileno).	A Falla en regular el flujo de entrada delos gases.	1 Se genera excesiva rebaja debido a alta temperatura de la flama.	Se funde demasiado el material quedando un corte con demasiada rebaja, se verifican válvulas de flujo y mezclador interno. Al no generar el charco de fisión no se puede realizar el corte de la zapata. Cambio de soplete 30 Min.		
	B Falla de válvula de entrada oxigeno para corte.	1 Genera la flama pero no permite que se cree el charco de fusión.			

ELEMENTO: reconstrucción automática		Realizado por: ALEJANDRO CASTRO ALEX NIETO		Fecha: Abril – Mayo 2011	Hoja : 1
COMPONENTE: Contact Nozzle		Revisado: ING. JOHAN ORDOÑEZ		Fecha: Mayo 2011	De: 4
Funcion	Fallo funcional	Modo de falla	Efecto de la falla		
1. Generar el arco eléctrico para realizar la soldadura.	A	Falla en el acabado de la soldadura.	1 El acabado del cordón es irregular.	Debido a la oscilación interna del alambre la soldadura ò cordón queda irregular.	
	B	Falla en la generación del arco eléctrico.	1 No hay arco	Se debe verificar las tarjetas de control duración : 10 Min	
			2 Falta tensión.	Se debe accionar el mando ò remoto.	
		3 Todas las funciones pero no hay arco	Verificar sensor magnético de control, ajuste de tornillo posicionador y restablecer la maquina.		

ELEMENTO: reconstrucción automática		Realizado por: ALEJANDRO CASTRO ALEX NIETO		Fecha: Abril – Mayo 2011	H o j a : 1
COMPONENTE: Sistema de movimiento		Revisado: ING. JOHAN ORDOÑEZ		Fecha: Mayo 2011	De: 5
Funcion	Fallo funcional	Modo de falla	Efecto de la falla		
1. Mover la maquina a lo largo de la estructura para soldar zapatas.	A Falla en desplazamiento de la maquina.	1 No se mueve la maquina. 2 Se mueve pero es constante.	No se realiza soldadura por no desplazarse, verificar las tarjetas de control. La maquina se le da la señal de movimiento pero la máquina no se mueve, se debe verificar la leva de ajuste, moto reductor y la guía de desplazamiento.		

ELEMENTO: reconstrucción automática		Realizado por: ALEJANDRO CASTRO ALEX NIETO		Fecha: Abril – Mayo 2011		H o j a : 1	
COMPONENTE: Alimentación electrodo automática		Revisado: ING. JOHAN ORDÓÑEZ		Fecha: Mayo 2011		De: 6	
Funcion		Fallo funcional		Modo de falla		Efecto de la falla	
1.	Alimentar el alambre a determinadas pulgadas x Min	A	Falla en la velocidad de alimentación.	1	Se desliza el alambre electrodo sobre rueda	Al no entrar en el charco de fusión de manera constante el arco no estabiliza y es intermitente, reduciendo en mal acabado.	

ELEMENTO: Jeb crane		Realizado por: ALEJANDRO CASTRO ALEX NIETO		Fecha: Abril – Mayo 2011	H o j a : 1
COMPONENTE: Sistema de transporte cable plano		Revisado: ING. JOHAN ORDOÑEZ		Fecha: Mayo 2011	De: 7
Funcion	Fallo funcional	Modo de falla	Efecto de la falla		
1. Transportar y levanta zapatas en las secciones de trabajo.	A Falla de suministro eléctrico.	1 No se mueve.	Se accionan los diferentes impulsadores pero no hay movimiento del jeb crane, verificar conectores del cable a soporte ò del cable a motor duración : 15 Min. El equipo prende y apaga, al realizar los movimientos, se debe verificar el estado del cable, reemplazo del cable : 2 horas		
	B Falla de movimiento continuo de levante y posicionamiento.	1 Movimiento homogéneo.			

ELEMENTO: Jeb crane		Realizado por: ALEJANDRO CASTRO ALEX NIETO		Fecha: Abril – Mayo 2011	H o j a : 1
COMPONENTE: Sistema de control.		Revisado: ING. JOHAN ORDOÑEZ		Fecha: Mayo 2011	De: 8
Funcion	Fallo funcional	Modo de falla	Efecto de la falla		
1. Emite señal de movimiento.	A Falla impulsadores en mal estado	1 No funciona.	No se mueve el sistema retransporte debido a desgaste de impulsadores. Se debe revisar tarjeta de control.		
	B Falso contacto	1 No funciona.			

ELEMENTO: Jib crane		Realizado por: ALEJANDRO CASTRO ALEX NIETO	Fecha: Abril – Mayo 2011	Hoja : 1
COMPONENTE: Sistema de movimiento horizontal		Revisado: ING. JOHAN ORDOÑEZ	Fecha: Mayo 2011	De: 9
Funcion	Fallo funcional	Modo de falla	Efecto de la falla	
1. Desplazar horizontalmente el Jib crane.	A Falla de movimiento horizontal.	1 Baja velocidad..	El equipo se traslada de manera muy lenta, toda la piñonería esta ok, Se debe verificar el motor eléctrico.	
		2 Cabeceo entre las partes de sujeción.	No hay movimiento horizontal se debe al desgaste de los piñones-rodillos de desplazamiento.	
		B Ruido al desplazarse	Se debe examinar los piñones-rodillos buscando verificar desgaste de los dientes ò falta de lubricación.	

ELEMENTO: Jeb crane		Realizado por: ALEJANDRO CASTRO ALEX NIETO		Fecha: Abril – Mayo 2011	H o j a : 1
COMPONENTE: Soporte guia.		Revisado: ING. JOHAN ORDÓÑEZ		Fecha: Mayo 2011	De:10
Funcion	Fallo funcional	Modo de falla	Efecto de la falla		
1. Desplazar horizontalmente el Jeb crane.	A Falla de movimiento de traslación.	1 El equipo no se mueve se desliza sobre el mismo.	El equipo no se desplaza horizontalmente, se debe verificar si existe obstrucción en la cara de rodadura, se realiza limpieza duración : 15 Min		

ELEMENTO: Jeb crane		Realizado por: ALEJANDRO CASTRO ALEX NIETO		Fecha: Abril – Mayo 2011	H o j a : 1
COMPONENTE: sistema de movimiento vertical.		Revisado: ING. JOHAN ORDÓÑEZ		Fecha: Mayo 2011	De:11
Funcion	Fallo funcional	Modo de falla		Efecto de la falla	
1. Desplazar verticalmente el gancho de agarre.	A Falla de movimiento de cadena.	1	Atascamiento..	Se debe verificar desgaste de piñones que transporta la cadena.	
		2	Ruido en caja de engranaje no uniforme.	Posible ruptura de dientes de piñones internos, verificar nivel de aceite y limaya en el mismo.	
		3	cadena atascado Guarda	Por falta de lubricación en la cadena, esta se atasca en la guarda y entre sus eslabones produciendo falta de movimiento.	

ELEMENTO: Reconstrucción manual (Fundeo)		Realizado por: ALEJANDRO CASTRO ALEX NIETO		Fecha: Abril – Mayo 2011	H o j a : 1
COMPONENTE: Maquina DC 600		Revisado: ING. JOHAN ORDÓÑEZ		Fecha: Mayo 2011	De:12
Funcion	Fallo funcional	Modo de falla	Efecto de la falla		
1. Soldar puntos entre vena y zapata.	A	Falla de caída de tensión.	1	No genera arco.	Debido a corto en los transformadores se revisa duración : 15 Min No hay generación de carga debido a jornadas continuas de trabajo, manifestándose en altas temperaturas de la maquina. No se realiza arco revisar conector, cable de la maquina y maquina toma corriente y luego resetear el equipo.
		Disparo			
	B	No hay voltaje	1	Sobre calentamiento del equipo.	
	C	Falso contacto	1		