

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA
GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM II EN
LA EMPRESA MAG INGENIEROS LTDA**

**LEYDI CAROLINA BARRERA GUEVARA
JAIRO ALONSO ACOSTA NIETO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2015

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA
GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM II EN
LA EMPRESA MAG INGENIEROS LTDA**

**LEYDI CAROLINA BARRERA GUEVARA
JAIRO ALONSO ACOSTA NIETO**

**Trabajo de Grado para optar el título de
Ingeniero Mecánico**

**Director:
PEDRO JOSÉ DIAZ GUERRERO
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2015

A Dios por iluminarme en todo el proceso de mi carrera y darme mucha fortaleza para los momentos difíciles.

A mi madre Clara por su amor, paciencia, apoyo incondicional, oraciones y por ser el mayor ejemplo de amor y de fe que tengo.

A mi padre Alfonso por sus consejos y apoyo incondicional para alcanzar todos mis logros propuestos a lo largo de mi carrera.

A mi hermana Andrea por estar siempre a mi lado, dándome apoyo y consejos.

A mi novio y compañero de trabajo de grado Jairo, por acompañarme en toda la carrera, brindándome amor y apoyo incondicional, por creer en mí y por salir adelante en nuestras metas.

A mi Familia por sus consejos que cada día me brindaron para la lucha y culminación de mi carrera.

A mis amigos y compañeros de estudio que durante mi proceso de formación intervinieron de una u otra manera aportándome conocimientos y enseñanzas.

Leydi Carolina

A Dios todopoderoso por sus bendiciones y por ser mi guía en el andar de mi vida.

A mi madre Rocio Nieto Salas, por ser la persona más importante de mi vida, por todo su amor, enseñanzas, consejos y permitirme cumplir cada uno de mis sueños, porque sin su ayuda nada hubiese sido posible.

A mi hermana Angie por su apoyo incondicional y creer en mí.

A mis abuelos, por su sabiduría, enseñanzas, palabras de ánimo y oraciones para ser cada vez mejor.

A mi novia y compañera de proyecto Leydi Carolina por batallar siempre a mi lado en toda la carrera, brindarme amor y por creer que realizar este sueño era posible.

A mis demás familiares y amigos que de una u otra manera han aportado a la consecución de este sueño.

Jairo Acosta

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería Mecánica por el conocimiento recibido durante toda la etapa de formación.

Al ingeniero Pedro José Díaz Guerrero por su apoyo, colaboración y paciencia en el desarrollo del proyecto de grado.

Al ingeniero Jarby García Castañeda y el Señor Miguel Ángel García, por permitirnos el desarrollo del proyecto en MAG INGENIEROS LTDA.

A todos nuestros compañeros, por sus consejos, enseñanzas y momentos compartidos.

CONTENIDO

| | pág. |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 22 |
| 1. GENERALIDADES DE MAG INGENIEROS LTDA | 24 |
| 1.1 UBICACIÓN | 24 |
| 1.2 MISIÓN | 25 |
| 1.3 VISIÓN..... | 25 |
| 1.4 POLITICAS DE CALIDAD..... | 25 |
| 1.5 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL | 26 |
| 1.6 CERTIFICACIONES | 27 |
| 1.7 SERVICIOS | 27 |
| 1.8 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO | 28 |
| 1.8.1 Proceso de granallado | 28 |
| 1.8.2 Granalla | 29 |
| 1.8.3 Usos del granallado | 30 |
| 1.8.4 Recomendaciones de la preparación de superficies..... | 30 |
| 1.8.5 Valores de rugosidad o perfil de anclaje para superficies de tanques | 30 |
| 1.8.6 Aplicación de pintura..... | 31 |
| 1.8.7 Valores del recubrimiento de pintura para superficies de tanques..... | 31 |
| 1.9 EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROCESO | 32 |
| 1.10 NORMAS DEL PROCESO | 35 |
| 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 37 |

| | |
|---|-----------|
| 2.1 JUSTIFICACIÓN..... | 38 |
| 2.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO DE GRADO..... | 39 |
| 2.2.1 Objetivo general..... | 39 |
| 2.2.2 Objetivos especificos | 39 |
| 3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 41 |
| 3.1 MANTENIMIENTO..... | 41 |
| 3.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO | 41 |
| 3.2.1 Mantenimiento Correctivo | 41 |
| 3.2.2 Mantenimiento preventivo..... | 42 |
| 3.2.3 Mantenimiento predictivo | 42 |
| 3.2.4 Mantenimiento proactivo..... | 42 |
| 3.3 MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD RCM II..... | 42 |
| 3.3.1 Metodología de desarrollo RCM | 43 |
| 3.3.2 Normas SAE JA1011 Y 1012 | 44 |
| 3.3.3 Preguntas claves del RCM..... | 44 |
| 3.3.4 Funciones y niveles de desempeño..... | 44 |
| 3.3.5 Fallas funcionales | 45 |
| 3.3.6 Modos de fallas..... | 45 |
| 3.3.7 Efectos de las fallas. | 47 |
| 3.3.8 Consecuencias de las fallas..... | 47 |
| 3.3.9 Tareas proactivas. | 48 |
| 3.3.10 Acciones a falta de..... | 48 |
| 3.3.11 Diagramas de decisión RCM. | 49 |
| 3.4 CONCEPTO DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD | 51 |

| | |
|---|-----------|
| 3.4.1 Método de los factores ponderados..... | 51 |
| 3.5 INDICADORES DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO | 52 |
| 3.5.1 Disponibilidad..... | 52 |
| 3.5.2 Confiabilidad | 52 |
| 3.5.3 Mantenibilidad..... | 52 |
| 3.5.4 Cumplimiento | 53 |
| 3.5.5 Analisis estadístico Weibull..... | 53 |
| 3.5.6 Interpretación del parámetro de forma β | 54 |
| 4. DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO..... | 55 |
| 4.1 ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO. | 55 |
| 4.2 PLANEACIÓN DEL MANTENIMIENTO..... | 55 |
| 4.3 DOCUMENTACIÓN TÉCNICA. | 56 |
| 4.4 PERSONAL DEL MANTENIMIENTO | 56 |
| 4.5 SISTEMAS INFORMÁTICOS | 56 |
| 4.6 COSTOS DEL MANTENIMIENTO..... | 56 |
| 4.7 ORGANIZACIÓN DEL TALLER PARA MANTENIMIENTO. | 56 |
| 4.8 ANÁLISIS DE LOS ASPECTOS ORGANIZATIVOS DE LA EMPRESA PARA DETERMINAR LA CONVENIENCIA DE REALIZAR EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO..... | 57 |
| 4.8.1 Evaluación organizativa de la empresa | 58 |
| 4.9 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO | 60 |
| 5. DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO..... | 62 |
| 5.1 INVENTARIO Y CODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS | 62 |
| 5.1.1 Codificación | 62 |
| 5.1.2 Inventario | 64 |

| | |
|--|------------|
| 5.2 FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS | 65 |
| 5.3 HOJAS DE VIDA DE LOS EQUIPOS | 70 |
| 6. ANÁLISIS DE CRITICIDAD..... | 71 |
| 6.1 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD..... | 72 |
| 6.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD | 73 |
| 7. MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD RCM II..... | 75 |
| 7.1 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y ANÁLISIS DE CAUSA (FMEA) | 75 |
| 7.2 HOJA DE DECISIONES A PARTIR DEL ANÁLISIS RCM II..... | 81 |
| 7.3 RUTINAS DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS..... | 86 |
| 7.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CONFIABILIDAD WEIBULL..... | 89 |
| 7.5 BENEFICIOS AL APLICAR RCM II | 99 |
| 8. DISEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN..... | 100 |
| 8.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN..... | 100 |
| 8.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN..... | 101 |
| 8.3 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN..... | 101 |
| 8.4 OBJETIVOS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN..... | 103 |
| 8.5 REQUERIMIENTOS DEL HARDWARE | 103 |
| 8.6 MÓDULOS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN..... | 103 |
| 8.6.1 Módulo de administración | 104 |
| 8.6.2 Módulo equipos..... | 104 |
| 8.6.3 Módulo gestión del mantenimiento | 105 |
| 8.6.4 Módulo inventarios | 106 |
| 8.6.5 Módulo alarmas | 107 |

| | |
|--|------------|
| 8.6.6 Módulo desempeño del mantenimiento | 107 |
| 8.6.7 Módulo ayuda | 108 |
| 8.7 CAPACITACIÓN | 108 |
| 9. CONCLUSIONES | 109 |
| 10. RECOMENDACIONES..... | 111 |
| BIBLIOGRAFÍA | 112 |
| ANEXOS | 114 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Limpieza y mantenimiento de superficies de tanques API..... | 24 |
| Figura 2. Logo MAG INGENIEROS LTDA | 25 |
| Figura 3. Estructura organizacional MAG INGENIEROS LTDA..... | 26 |
| Figura 4. Limpieza de superficies con granalladora | 28 |
| Figura 5. Granalla de acero angular | 29 |
| Figura 6. Equipo de granallado con cesta colectora de polvo..... | 33 |
| Figura 7. Planta eléctrica ATLAS COPCO 220 KVA..... | 33 |
| Figura 8. Compresor Diesel | 34 |
| Figura 9. Equipo de pintura neumática | 34 |
| Figura 10. Recolector de granalla (VACCUM) | 35 |
| Figura 11. Tolvas de almacenamiento | 35 |
| Figura 12. Metodología para una implementación RCM II..... | 43 |
| Figura 13. Patrones de falla en función del tiempo | 47 |
| Figura 14. Diagrama de decisiones RCM | 50 |
| Figura 15. Jerarquía del mantenimiento | 57 |
| Figura 16. Esquema codificación de equipos | 62 |
| Figura 17. Placa de identificación del equipo..... | 64 |
| Figura 18. Proceso de análisis de criticidad..... | 71 |
| Figura 19. Matriz de criticidad | 73 |
| Figura 20. Equipos catalogados en la matriz de criticidad | 74 |

| | |
|---|-----|
| Figura 21. Análisis Weibull en el sistema de información CP | 91 |
| Figura 22. Relación del parámetro de forma con la tasa de riesgo..... | 92 |
| Figura 23. Gráfico de probabilidad Weibull CP | 92 |
| Figura 24. Gráfico de confiabilidad vs tiempo CP | 93 |
| Figura 25. Gráfico de probabilidad de falla vs tiempo CP | 94 |
| Figura 26. Análisis Weibull en el sistema de información EPN..... | 95 |
| Figura 27. Gráfico de probabilidad Weibull EPN..... | 96 |
| Figura 28. Gráfico de confiabilidad vs tiempo EPN..... | 97 |
| Figura 29. Gráfico de probabilidad de falla vs tiempo EPN..... | 98 |
| Figura 30. Diagrama de bloques del sistema de información | 102 |
| Figura 31. Entradas y salidas del sistema de información | 102 |

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Composición química y características de la granalla de acero..... | 30 |
| Tabla 2. Condiciones ambientales permitidas para la aplicación de pinturas | 31 |
| Tabla 3. Valores de recubrimiento de pintura para cuerpo exterior del tanque..... | 32 |
| Tabla 4. Valores de recubrimiento de pintura para cuerpo interior del tanque..... | 32 |
| Tabla 5. Valores de recubrimiento de pintura para tanque exterior | 32 |
| Tabla 6. Indices de evaluación de aspectos organizativos de la empresa..... | 59 |
| Tabla 7. Evaluación organizacional en la Empresa MAG INGENIEROS LTDA | 60 |
| Tabla 8. Subcódigo de propietarios de los equipos | 63 |
| Tabla 9. Subcódigo de clase de equipo | 63 |
| Tabla 10. Inventario de equipos de la empresa MAG INGENIEROS LTDA | 64 |
| Tabla 11. Ficha técnica del compresor MAG-CP-07..... | 66 |
| Tabla 12. Ficha técnica del equipo de Granallado MAG-GR-01 | 66 |
| Tabla 13. Ficha técnica de Planta Eléctrica MAG-PE-03..... | 68 |
| Tabla 14. Ficha técnica Equipo de Soldadura Diesel MAG-ESD-01 | 69 |
| Tabla 15. Formato de hoja de vida para equipos..... | 70 |
| Tabla 16. Criterios para calcular la criticidad de los equipos | 72 |
| Tabla 17. Resultados de análisis de criticidad de equipos | 73 |
| Tabla 18. Equipos criticos del proceso de granallado y pintura de superficies | 75 |
| Tabla 19. Análisis FMEA Equipo Granallado 3630 HV | 76 |
| Tabla 20. Análisis FMEA Equipo Vaccum..... | 77 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 21. Análisis FMEA Planta Eléctrica..... | 78 |
| Tabla 22. Análisis FMEA Equipo Compresor..... | 79 |
| Tabla 23. Análisis FMEA Equipo de Pintura Neumático..... | 80 |
| Tabla 24. Hoja de decisiones Equipo de Granallado 3630 HV..... | 81 |
| Tabla 25. Hoja de decisiones Equipo Vaccum..... | 83 |
| Tabla 26. Hoja de decisiones Plantas Eléctricas..... | 84 |
| Tabla 27. Hoja de decisiones Compresores..... | 84 |
| Tabla 28. Hoja de decisiones equipos de Pintura Neumático..... | 85 |
| Tabla 29. Rutinas de mantenimiento para compresores..... | 86 |
| Tabla 30. Rutinas de mantenimiento para plantas eléctricas Diesel..... | 87 |
| Tabla 31. Rutinas de mantenimiento para equipos de granallado..... | 88 |
| Tabla 32. Rutinas de mantenimiento para el Vaccum..... | 88 |
| Tabla 33. Rutinas de mantenimiento para Equipo de Pintura Neumático..... | 89 |
| Tabla 34. Historial de eventos de falla para la línea de equipos CP..... | 90 |
| Tabla 35. Resultado del análisis Weibull CP..... | 91 |
| Tabla 36. Historial de eventos de falla para la línea de equipos EPN..... | 94 |
| Tabla 37. Resultado del análisis Weibull EPN..... | 95 |
| Tabla 38. Formato Orden de Trabajo..... | 106 |

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|--|-------------|
| Anexo A. Carta de visto bueno por MAG INGENIEROS LTDA | 114 |
| Anexo B. Fichas técnicas de los equipos..... | 115 |
| Anexo C. Auditoría de mantenimiento | 115 |
| Anexo D. Manual del usuario del sistema de información | 115 |

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM II EN LA EMPRESA MAG INGENIEROS LTDA. *

AUTORES: LEYDI CAROLINA BARRERA GUEVARA
JAIRO ALONSO ACOSTA NIETO **

PALABRAS CLAVE:

Sistema de información, mantenimiento preventivo, Plan de mantenimiento, inventario, MAG INGENIEROS LTDA.

DESCRIPCIÓN:

El presente trabajo de grado describe la implementación de un sistema de información para la gestión de las actividades de mantenimiento bajo una metodología RCM II de los equipos que intervienen en la línea productiva, permitirá la planificación, programación, ejecución y control de las actividades. El registro y la organización de los documentos provenientes del mantenimiento de la línea de equipos, análisis de criticidad y requerimientos según la norma SAE JA1011, facilitando el seguimiento de los costos que se genera por esta labor, garantizando la disponibilidad y vida útil de los equipos, aumentando el rendimiento, productividad y confiabilidad del proceso.

En primera instancia se realizó un diagnóstico del estado actual del departamento de mantenimiento para identificar las falencias y necesidades en estos procesos, tanto en el manejo de equipos, herramientas y su mantenimiento, En la segunda, se realizó un inventario de todos los equipos con información técnica, hojas de vida, información de proveedores y catálogos. En tercera instancia se elabora un análisis de criticidad para realizar una metodología RCM II y análisis FMEA (Análisis de modo de falla y efecto) para estos equipos.

Finalmente se diseña e implementa un sistema de información que gestione el proceso de inventario, disponiendo organizadamente de toda la información de cada equipo en bodega y su mantenimiento a aplicar, proporcionando mayor control de los procesos de entradas y salidas de los equipos, disminuyendo los tiempos en este proceso.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director, Ingeniero Pedro José Díaz Guerrero.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN INFORMATION SYSTEM FOR MANAGEMENT OF RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE RCM II IN MAG INGENIEROS LTDA COMPANY.*

AUTHORS: LEYDI CAROLINA BARRERA GUEVARA
JAIRO ALONSO ACOSTA NIETO **

KEY WORDS:

Information system, preventive maintenance, maintenance plan, inventory, MAG INGENIEROS LTDA.

DESCRIPTION:

This project describes the implementation of an information system for the management of maintenance activities under RCM II methodology of the equipment involved in the production line; it will allow different steps like planning, programming, execution and control of those activities. Registration and organization of documents from the maintenance of the line equipment, critical analysis and requirements according to the SAE JA1011, facilitating tracking costs generated by this work, ensuring availability and service life of equipment, increasing performance, productivity and process reliability.

A diagnosis of the current state of the maintenance department was made in the first instance to identify gaps and needs in those processes, both in the handling of equipment, tools and maintenance, in the second part; an inventory of all equipment was performed with technical information, resumes, supplier information and brochures. In the third instance a criticality analysis is developed to perform a RCM II analysis methodology and FMEA (Failure Mode Analysis and effect) for this equipment.

Finally design and implement an information system that manages the inventory process, providing all the information in each step located in the warehouse and maintenance to apply, providing greater process control of inputs and outputs of equipment, reducing the time in this process.

* Project of grade

** Physical –Mechanical Engineering Faculty, Mechanical Engineering School, Eng. Pedro José Díaz Guerrero.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el concepto de mantenimiento ha tomado un valor importante en el desarrollo y crecimiento de las organizaciones, refiriéndose así a todas las actividades que se llevan a cabo de forma planeada, programada y controlada para mejorar la efectividad y la productividad, logrando una disminución de fallas y costos causados por estas paradas en los procesos productivos, toda empresa, busca rendir y optar por mejorar su calidad de producción, implementado nuevas técnicas que le permitan garantizar un desempeño competitivo y eficiente.

La empresa MAG INGENIEROS LTDA pertenece al sector del petróleo y gas, se basa en prestar servicios de construcción, mantenimiento y pintura de tanques de almacenamiento, equipos estáticos, rotativos y tuberías a nivel nacional, actualmente se encuentra en continuo mejoramiento, pues cada día son más exigentes los requerimientos del cliente, razón por el cual la empresa trabaja arduamente en la búsqueda de mejoramiento mediante la prestación de un servicio continuo y de calidad buscando mantener su línea de equipos disponibles y en buen estado.

Es por esto que en pro del fortalecimiento del compromiso misional de la Universidad Industrial de Santander con la industria Colombiana, nace la necesidad de diseñar un sistema de información para gestionar el mantenimiento preventivo en la línea de equipos, buscando como primera instancia contribuir al mejoramiento y modernización de la empresa en sus procesos de mantenimiento y manejo de equipos, dado que la empresa maneja constantemente estos equipos y no cuentan con un plan de mantenimiento y un sistema de información.

Los sistemas de información han transformado la manera de controlar las organizaciones hoy en día, logrando a través de su implementación importantes mejoras, automatizando procesos operativos, suministrando base de datos con información necesaria para tomar decisiones.

Para llevar a cabo el cumplimiento de este proyecto, se realizó en primera instancia un diagnóstico del estado actual del mantenimiento en la empresa, estudiando la organización, planeación, documentación y personal de mantenimiento, seguidamente se realizó un inventario de los equipos junto a la elaboración de codificación y fichas técnicas, con un estudio de los procesos productivos para llevar a cabo un análisis de criticidad para obtener la información necesaria para desarrollar una técnica de mantenimiento preventivo y ser consignada en el sistema de información.

El sistema de información se implementó de acuerdo a las políticas de la empresa con posibilidad de posibles mejoras en el futuro, bajo una interfaz amigable con los usuarios, orientado al fácil manejo, el acceso al sistema se puede realizar a través de cualquier computador de la empresa conectado a internet, con sus respectivos nombres de usuario y contraseña, otorgando mayor versatilidad al sistema de gestión al no estar comprometido a una plataforma en particular o un lugar específico.

1. GENERALIDADES DE MAG INGENIEROS LTDA

MAG INGENIEROS LTDA. Es una empresa legalmente constituida dedicada a la prestación de servicios al sector industrial y petrolero, realiza actividades tales como construcción, montaje, mantenimiento y reparación de tanques, tuberías, aplicación de sandblasting, wedtblasting, pintura industrial, retiro y biodegradación de lodos, instalaciones y montaje de tubería, soldadura en general, aislamiento térmicos y obras civiles en General.

Figura 1. Limpieza y mantenimiento de superficies de tanques API.



Fuente: MAG Ingenieros Ltda.

Formada el 17 de Mayo de 2007, nace de la necesidad de transformar a la empresa MAG - MIGUEL ÁNGEL GARCÍA persona natural a un nivel de composición jurídica más competitiva y de mayor permanencia en el mercado esta última constituida desde el año 1986.

1.1 UBICACIÓN

Las oficinas están ubicadas en la calle 37 No. 37 B – 193 Barrio Yarima en Barrancabermeja, los servicios se pueden consultar en el teléfono (097) 6107580, telefax (097) 6107474 o por medio de su página Web <http://www.magingenieros.com>. También cuenta con sucursales en Cartagena – Bolívar y en Coveñas – Sucre.

Figura 2. Logo MAG INGENIEROS LTDA.



Fuente: MAG Ingenieros Ltda.

1.2 MISIÓN

Somos una Empresa Contratista orientada al Sector Industrial y Petrolero que brinda soluciones relacionadas con el montaje, mantenimiento y reparación de tanques, tuberías, sandblasting, wedtblasting, aplicación de pinturas industriales, así como el montaje de equipos estáticos, adecuándonos a las características y requerimientos de nuestros clientes, cuidando la integridad de los trabajadores y garantizando el mínimo impacto al medio ambiente.

1.3 VISIÓN

Consolidarnos como una empresa reconocida en la industria petrolera y gas a nivel nacional e internacional, adaptándonos a las necesidades de nuestros clientes y mejorando continuamente los procesos para brindar confianza y cumplimiento en la prestación de nuestros servicios, mediante el fortalecimiento constante en tecnología, innovación y desarrollo operativo contando con un recurso humano competente y logrando alianzas estratégicas a nivel Latinoamérica cumpliendo con los estándares de competencia global.

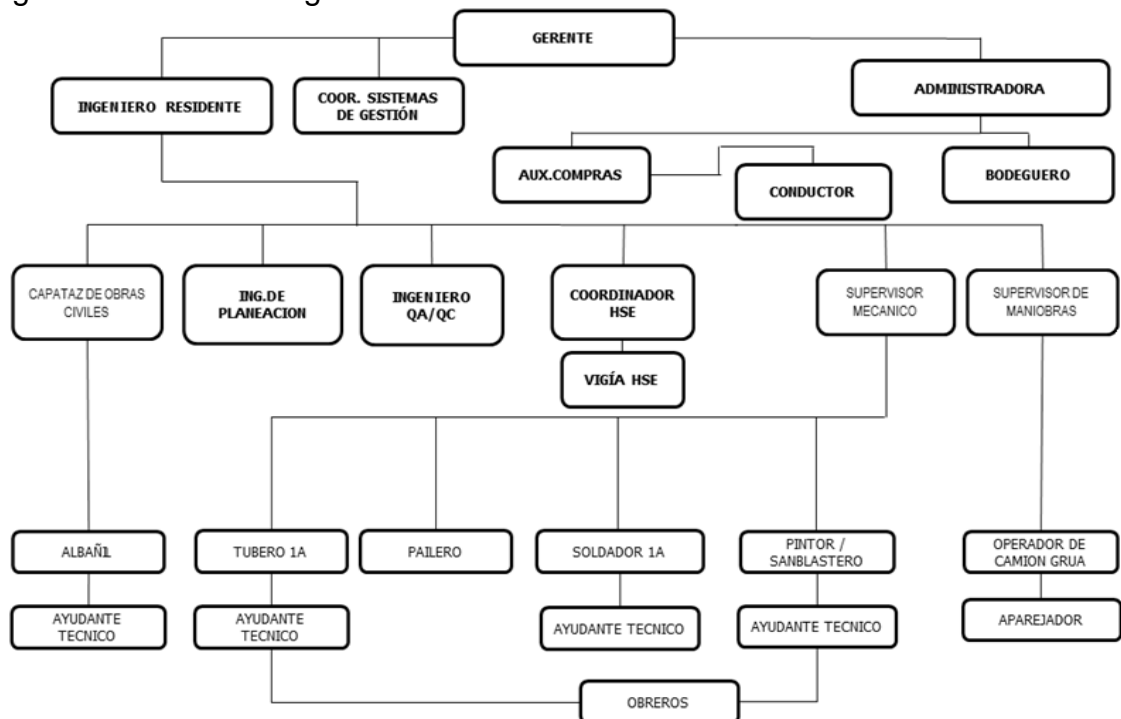
1.4 POLITICAS DE CALIDAD

MAG INGENIEROS LTDA es una empresa que brinda a sus clientes servicios en mantenimiento general de tanques, tuberías y aplicación de sandblasting, westblasting, pintura industrial, cumpliendo con especificaciones y plazos de entrega de los proyectos, contando con recurso humano competente y equipos adecuados, comprometidos con:

- La satisfacción de nuestros clientes.
- El cumplimiento con las especificaciones y plazos de entrega
- La mejora continua del sistema de gestión integral y su eficacia.
- La Prevención de lesiones y enfermedades que se puedan generar en sus trabajadores.
- La Prevención de la contaminación al medio ambiente.
- La formación y entrenamiento de sus trabajadores en HSEQ.
- El cumplimiento de la legislación aplicable en seguridad, salud ocupacional y medio ambiente y otra índole.
- La prohibición de consumo de alcohol, drogas o estar bajo el efecto de las mismas en los sitios de trabajo.
- La prohibición de consumo de cigarrillo o tabaco en lugares, horas de trabajo o en sitios de descanso de la empresa.

1.5 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Figura 3. Estructura organizacional MAG INGENIEROS LTDA.



Fuente: MAG Ingenieros Ltda.

1.6 CERTIFICACIONES

La empresa cuenta actualmente con las siguientes certificaciones: ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 y OHSAS 18001:2007

1.7 SERVICIOS

MAG INGENIEROS LTDA, presta los siguientes servicios:

Mantenimiento y reparación de tanques: Inspección, limpieza, reparación y mantenimiento de tanques de almacenamiento API como cambio de láminas del fondo, techo y cuerpo, boquillas, manholes, columnas, estructuras de techo y sus respectivas líneas de succión, descargue y drenajes.

Mantenimiento y reparación de tuberías: Inspección, montajes, mantenimiento, prefabricación, corte y desmantelamiento de tuberías, montaje y desmontaje de válvulas, construcción de soportes, Marco H, pruebas hidrostáticas con personal calificado y cumpliendo con las normas de seguridad, calidad y ambientales.

Mantenimiento de superficies: Limpieza y preparación de superficies a tanques, tuberías y accesorios por medio de GRANALLA, WATERJETTING, SANDBLASTING, WETBLASTING, y la aplicación de pinturas industriales.

Retiro y biodegradación de lodos: Limpieza, biodegradación y retiro de lodos aceitosos, desgasificación y lavado en general de tanques cumpliendo con los estándares de seguridad y medio ambiente que compete esta actividad.

Mantenimiento a equipos estáticos y rotativos: Limpieza y Montaje de Intercambiadores, Drum, torres enfriadoras, separadores, reactores, colectores, vasijas, bombas, motores y turbinas

Obras civiles: Adecuación de terrenos y sistemas de drenajes, movimiento de tierras, rocería, descapote, geotecnia, excavaciones, muros de contención, estructuras de concreto, construcción y demolición de concretos industriales como: bases a equipos, torres, hornos, bombas y tuberías.

Alquiler de equipos y herramientas: Equipos de Granallado, compresores Diesel, Equipos de Sandblasting, Equipos de soldadura, Bombas Wilden, Andamios Layher, plantas generadoras, tracto camión con brazo hidráulico, equipos de pintura entre otros.

1.8 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

A continuación se describe la actividad principal de limpieza y aplicación de pintura en superficie de Tanques de Almacenamiento API en MAG INGENIEROS:

1.8.1 Proceso de granallado

Es una técnica de tratamiento de limpieza superficial por impacto de un abrasivo natural o artificial (Granalla de acero) con el cual se puede lograr un acabado superficial en buenas condiciones.

Se realiza a través de una máquina granalladora, donde lanza el abrasivo a velocidad en ráfaga y a granel para que impacte la superficie que se quiere procesar. El efecto de este choque provoca que las partículas no adheridas a la superficie sean desplazadas obteniendo como resultado una limpieza profunda, este proceso es más rápido que el denominado sandblasting.

Figura 4. Limpieza de superficies con granalladora.



Fuente: MAG INGENIEROS LTDA

MAG INGENIEROS LTDA, realiza el control de calidad durante la preparación de superficies, la medición de los contaminantes no visibles (iones cloruros, sulfatos y ferrosos), se realizará con el método Parche. El procedimiento para esta medición tiene como referencia la Norma ISO 8502 (Ítem 6: Procedimiento para extracción de sales. El grado de limpieza de la superficie para la aplicación de la pintura depende del tipo de proyecto y el más usado es el grado de limpieza SSPC-SP5. **Steel Structures Painting Council (SSPC)**, SSPC-SP 5 Limpieza con chorro abrasivo a metal blanco.

Los residuos como pintura removida, polvo y residuos de granalla es recolectada nuevamente por la máquina mediante efecto de succión, enviando estos a una cesta colectora de polvos, pasando por 9 filtros tipo cartucho y una caneca convencional de 55 galones de capacidad, generando una emisión de polvo al medio ambiente por debajo de los niveles estándar.

1.8.2 Granalla

Es un abrasivo usado en aplicaciones de tratamiento de superficies, se obtiene por trituración de acero fundido y pasan a un proceso de templado y revenido. Las granallas angulares tienen un alto índice de erosión y están destinadas a trabajos duros en superficies muy contaminadas. Su composición química cuenta con un alto porcentaje de carbono y la gama de dimensiones está comprendida entre 0,1 y 8mm.

Figura 5. Granalla de acero angular.



Fuente: MAG INGENIEROS LTDA

Tabla 1. Composición química y características de la granalla de acero.

| COMPOSICIÓN QUIMICA | |
|----------------------------|-----------------------|
| C | 0,85-1,2% |
| Mn | 0,60-1,2% |
| Si | 0,4-1,5% |
| S | 0,05% |
| P | 0,05% |
| CARACTERISTICAS | |
| Dureza | 46-51 HRC |
| Otras durezas | 53-57 y > 64 HRC |
| Color | Acero |
| Densidad | 7,4 g/cm ³ |
| Forma | Esférica o angular |

Fuente: <http://www.abrasivosymaquinaria.com>

1.8.3 Usos del granallado

Es aplicado en la industria aeroespacial, automotriz, petrolera, metalúrgica, etc. En el reacondicionamiento de superficies de partes mecánicas como ejes, cigüeñales, forjados, chasis, perfiles de acero, tanques de almacenamiento y tuberías.

1.8.4 Recomendaciones de la preparación de superficies

- El material abrasivo a utilizar debe estar seco y libre de elementos contaminantes.
- Para el granallado o sandblasting de las esquinas y zonas donde el equipo de granallado no opere, el aire comprimido debe estar libre de agua y aceite.
- Las superficies deben estar secas y la temperatura de la superficie a ser pintada esté al menos 5°C por encima de la temperatura de rocío del aire y que la humedad relativa del aire no sea mayor al 85%

1.8.5 Valores de rugosidad o perfil de anclaje para superficies de tanques

Están relacionados con el control del grado de limpieza, se realiza visualmente y por medio de medidores, dependiendo de la aplicación y requerimientos, generalmente se prepara la superficie con un perfil de anclaje mínimo de 3 a 4

mils (Milésima de pulgada), medido con el método de la cinta Testex (SSPC SP-5 / NACE 2 limpieza grado metal blanco).

1.8.6 Aplicación de pintura

La aplicación de pintura se divide en tres fases:

- **Base o Imprimación:** Se aplica como primera capa de pintura y cumple una o varias de las siguientes funciones: mejorar apariencia, rendimiento y adherencia de las capas de acabado y proteger contra la corrosión.
- **Intermedio o Barrera:** Es una capa de refuerzo que proporciona mejoras en las propiedades físicas, mecánicas y químicas del recubrimiento y se aplica sobre la base o anticorrosivo y antes del acabado.
- **Acabado:** Sirve fundamentalmente para proteger la superficie del recubrimiento, proporciona una barrera aislante en el sistema para resistir los agentes físico-químicos del medio ambiente.

Tabla 2. Condiciones ambientales permitidas para la aplicación de pinturas.

| CONDICIONES AMBIENTALES |
|---|
| Humedad relativa no mayor al 90% |
| Temperatura ambiente; 3°C superior a la temperatura de rocío |
| Temperatura ambiente para la aplicación de pintura epóxica, entre 10 y 49 °C |
| Temperatura ambiente para la aplicación de pintura de poliuretano, entre 5 y 49°C |
| Temperatura de lámina durante la aplicación de pintura epóxica y poliuretano entre 10° y 55°C |

Fuente: MAG INGENIEROS LTDA

1.8.7 Valores del recubrimiento de pintura para superficies de tanques

Los valores del recubrimiento de pintura, dependen del uso, requerimientos y la superficie del mismo:

Tabla 3. Valores de recubrimiento de pintura para cuerpo exterior del tanque.

| Capa | Tipo de pintura | % de sólidos por volumen | Espesor seco (Mils) |
|-----------------------|--|--------------------------|---------------------|
| Imprimación y barrera | Epoxi-poliamida-amida auto imprimante de altos sólidos | 80 | 6 a 8 |
| Acabado | Poliuretano Alifático | 60 | 3 a 4 |

Fuente: MAG INGENIEROS LTDA

Tabla 4. Valores de recubrimiento de pintura para cuerpo interior del tanque.

| Capa | Tipo de pintura | % de sólidos por volumen | Espesor seco (Mils) |
|-------------|--|--------------------------|---------------------|
| Imprimación | Imprimante Epóxico de espera (Holding primer) | 30 a 40 | 1 a 2 |
| Acabado | Epoxi- poliamida de altos sólidos autoimprimante | 100 | 18 a 19 |

Fuente: MAG INGENIEROS LTDA

Tabla 5. Valores de recubrimiento de pintura para tanque exterior.

| Capa | Tipo de pintura | % de sólidos por volumen | Espesor seco (Mils) |
|-------------|---|--------------------------|---------------------|
| Imprimación | Epoxi- poliamida-amida auto imprimante de altos sólidos | 80 | 8 a 9 |
| Barrera | Epoxi- poliamida-amida auto imprimante de altos sólidos | 80 | 8 a 9 |
| Acabado | Poliuretano Alifático | 60 | 2 a 3 |

Fuente: MAG INGENIEROS LTDA

1.9 EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROCESO

Equipo de granallado con cesta colectora de polvos: Es usado para la limpieza de tanques (Ver Figura 6), techos, paredes interiores y exteriores, tubos, placas, entre otros, con alto grado de flexibilidad, versatilidad y altas tasas de producción, controla las emisiones de residuos a medida que limpia la superficie, el colector de polvo limpia la granalla y es retornada al sistema.

Planta eléctrica Diesel: Se encarga de suministrar energía a todos los equipos del proceso (Ver figura 7), debido a que la empresa debe llevar todos los equipos al lugar del tanque para su mantenimiento, necesita proporcionar energía en ese lugar que en la mayoría de los casos es alejado en campo.

Figura 6. Equipo de granallado con cesta colectora de polvo.



Fuente: MANUAL DEL EQUIPO MAG INGENIEROS LTDA

Equipo compresor diesel: (Ver Figura 8) Comprime el aire que es enviado a las mangueras de los equipos neumáticos para aplicar la pintura, también es usado para el proceso de sandblasting en las partes donde el equipo de granallado no ingresa, como esquinas y parte inferior de las paredes.

Figura 7. Planta eléctrica ATLAS COPCO 220 KVA.



Fuente: MAG INGENIEROS LTDA

Equipo de pintura neumática: (Ver Figura 9) Son usados para la aplicación de pintura en la superficie previamente limpiada, son de operación neumática, y el operario controla la salida de la pintura por medio de un soplador metálico.

Figura 8. Compresores Diesel.



Fuente: MAG INGENIEROS LTDA

Figura 9. Equipo de pintura neumática.



Fuente: MAG INGENIEROS LTDA

Equipo recolector de granalla (VACCUM): Se usa para recoger, limpiar y recargar granalla al equipo de granallado, se usa en los procesos de preparación de superficies de forma manual, este proceso se puede realizar 2 o 3 veces.

Tolvas de almacenamiento: Son recipientes de forma piramidal que se usan para recolectar la arena (Ver Figura 11) y dirigirla hacia la manguera por la que se va a expulsar el medio abrasivo hacia las superficies de bordes y esquinas.

Figura 10. Recolector de granalla (VACCUM).



Fuente: MAG INGENIEROS LTDA

Figura 11. Tolvas de almacenamiento.



Fuente: MAG INGENIEROS LTDA

1.10 NORMAS DEL PROCESO

MAG INGENIEROS LTDA en la realización de su proceso de fundamenta en las siguientes normas:

Steel Structures Painting Council (SSPC)

- SSPC-PA 1 Almacenamiento en campo y mantenimiento de la pintura.
- SSPC-PA 2 Medidas de espesor de pintura en película seca con herramientas magnéticas.
- SSPC-SP 1 Limpieza con solvente.
- SSPC-SP 6 Limpieza con chorro abrasivo a grado comercial.
- SSPC-SP 10 Limpieza con chorro abrasivo cerca de metal blanco.

National Association of Corrosion Engineers (NACE)

- NACE RP0287 Medidas de campo de perfil de rugosidad y superficies limpiadas con chorro abrasivo usando la cinta Testex.
- NACE 6G186 NACE Publicación 6G186, Ítem No. 54257 Determinación de Iones de Cloro.
- NACE N° 5 / SSPC-SP12 Preparación de superficie y limpieza de acero y otros materiales por inyección de agua a alta presión.
- NACE RP 0490 Pruebas de discontinuidad Eléctrica.

American Society of Testing and Materials (ASTM)

- ASTM 4285 Standard Test Method for Indicating Oil or Water in Compressed Air.
- ASTM D 3359 Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test.
- ASTM D 4541 Test Method for Pull Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers.
- ASTM D4417-93 Método de Determinación del Perfil de Anclaje

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa MAG INGENIEROS LTDA al manejar todo tipo de equipos para el desarrollo de sus actividades, no cuenta con un sistema de información eficiente, generando un demorado manejo de los equipos y rutinas de mantenimiento, también la falta de control en la salida y entrada de estos en bodegas, causando pérdidas de tiempo y atrasos en este proceso al ser realizado manualmente teniendo en cuenta también los imprevistos inesperados por falta de codificación de algunos de estos.

Dentro del proceso de alquiler o preparación de equipos en bodega para realizar una obra, la empresa destina a un grupo de operarios que se encargan del recuento de estos y verificación de su estado, mediante inspección visual y para realizar un cambio de repuesto, se genera manualmente una orden de trabajo y luego enviado a las oficinas para su compra, siendo esta labor demorada al haber desplazamiento desde la bodega hasta las oficinas para su respectiva compra y anotación en la hoja de vida del equipo (En hojas), también el recurso hora/operario es desaprovechada tardando dos días en esta labor de alistamiento.

Para solucionar estos problemas, se propone desarrollar un sistema de información para gestionar el mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II, que se ajuste a las necesidades de la empresa, contribuyendo a la reducción de tiempo, costos y aumento en la productividad, es decir un software que incluya registro y control de inventario, proveedores, genere órdenes y reportes de trabajos, active alarmas para llevar a cabo los planes de mantenimiento y ante todo que sea seguro, donde en primera instancia se cumpla con los objetivos, apoyado en la misión y visión de la empresa.

Debido al desarrollo de tecnologías y el nivel de competitividad al que se enfrenta este tipo de empresas, se concluye que el tiempo de producción en las empresas es parte fundamental del éxito.

2.1 JUSTIFICACIÓN

Junto al crecimiento de tecnologías y competitividad en la industria, se busca que el alto manejo de todo tipo de recursos y herramientas sea en pro del desarrollo de las actividades de la empresa, se ha evidenciado la preocupación por parte del gerente debido al mal manejo de los procesos de mantenimiento, causando retrasos en sus obras junto con las tareas de inventarios, ocasionando grandes pérdidas de tiempo y dinero.

Este proyecto tiene como finalidad a partir de la utilización de redes, software y bases de datos, implementar un sistema de información completo para gestionar las actividades del mantenimiento bajo la metodología RCM II que permita reducir costos además tener un mayor control de todas las actividades y de inventarios.

Esta contribución quiere complementar y reforzar las tareas de mantenimiento que actualmente se llevan a cabo y con ello facilitar la comunicación entre las diferentes áreas para aumentar el control y el análisis de los objetivos propuestos contribuyendo al incremento de la calidad en todos sus procesos.

La implementación de un sistema para la gestión de las actividades de mantenimiento de la empresa MAG INGENIEROS LTDA, permitirá la planificación, programación, ejecución y control de las actividades. El registro y la organización de los documentos provenientes del mantenimiento de la línea de equipos, análisis de criticidad y requerimientos según la norma SAE JA1011, facilita el seguimiento de los costos que se genera por esta labor, garantizando la disponibilidad y vida útil de los equipos, aumentando el rendimiento y confiabilidad del proceso, además se dispondrá organizadamente de toda la información de cada equipo en

bodega, proporcionando mayor control de los procesos de entradas y salidas de los equipos, disminuyendo los tiempos en este proceso.

En conclusión, este sistema de información proveerá un aumento de calidad de los procesos, elevando su nivel de competitividad en el mercado frente a otras empresas, cumpliendo las especificaciones y plazos de entrega de las obras.

2.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

2.2.1 Objetivo general

Contribuir con el compromiso misional de la universidad industrial de Santander mediante el desarrollo y transferencias de tecnologías a las necesidades de la industria mediante la implementación de un programa de mantenimiento preventivo manejado a través de un sistema de información que se acomode a las necesidades de la empresa MAG INGENIEROS LTDA, ayudando al mejoramiento y calidad de los procesos industriales realizados por esta empresa.

2.2.2 Objetivos específicos

Realizar un inventario de los equipos, máquinas y herramientas existentes en la empresa MAG INGENIEROS LTDA, recopilando, clasificando y ordenando la información técnica actual de operatividad de los equipos.

Realizar un diagnóstico del estado actual del mantenimiento de la línea de equipos de la empresa MAG INGENIEROS LTDA.

Elaborar la ficha técnica y codificación de cada uno de los equipos, mediante el levantamiento de información disponible en la planta y proveedores para ser consignado en el sistema de información.

Realizar un análisis de criticidad en la línea de equipos basado en criterios ponderados para priorizar sus mantenimientos y clasificarlos.

Implementar un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad enfocado en el resultado del análisis de criticidad a los equipos, teniendo en cuenta los requerimientos de la norma SAE JA1011.

Diseñar un sistema de información compatible con los requerimientos de hardware de la empresa ejecutado por servidor web PHP, donde se realice el manejo de datos por medio de base datos en MySQL con el fin de procesar la información referente al mantenimiento.

Capacitar al personal de la empresa sobre el manejo y seguridad del sistema de información por medio de la creación de guías y manuales.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En este capítulo se consigna toda la información necesaria referente al mantenimiento para el desarrollo de este proyecto.

3.1 MANTENIMIENTO

Son todas las acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes.¹

3.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO

En la práctica existen cuatro tipos reconocidos de mantenimiento, donde se diferencian de acuerdo al momento en el cual se realizan, definidos de la siguiente manera:

3.2.1 Mantenimiento correctivo

Radica básicamente en corregir una falla que se ha presentado en algún equipo y mediante esto localizarlo para su debida corrección o reparación puesto que esto le implica a la empresa perdida de costos y producción.

Cabe resaltar que este tipo de mantenimiento no es programado, ya que se requiere de una inmediata reparación. Para esto se debe observar la causa del problema, evaluar las fallas, estudiar las posibles alternativas de solución e implementar la mejor solución a la falla acompañado con un equipo de personal especializado en esta área.

¹ European Federation of National Maintenance Societies. Definición de mantenimiento [En línea] <http://www.efnms.org/What-EFNMS-stands-for/m1312/What-EFNMS-stands-for.html> [Citado el 29 de Julio de 2014]

3.2.2 Mantenimiento preventivo

Consiste en una serie de actividades propuestas ya programadas, donde requiere inspecciones, reparaciones, cambios y pruebas, donde se busca evitar averías y daños en el equipo, otorgando a la empresa disponibilidad de sus máquinas.

3.2.3 Mantenimiento predictivo

Se basa en herramientas o técnicas de detección de fallas aplicables al equipo, para poder implementarlo es necesario que la empresa cuente con tecnología que indiquen las variables para la intervención, así como personal capacitado para la lectura e interpretación de los datos.

3.2.4 Mantenimiento Proactivo

Es una técnica dirigida en la identificación y corrección de las causas que originan las fallas en los equipos, elementos e instalaciones industriales, este mantenimiento ejecuta soluciones que atacan la causa de los problemas más no los efectos otorgando la solución a causas de falla recurrentes y el incremento del tiempo medio entre fallas.

3.3 MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD RCM II

Es un proceso estructurado que permite definir las estrategias de mantenimiento, para que los activos continúen cumpliendo con sus funciones en su contexto operacional.² Es un proceso que ayuda a determinar las mejores estrategias para administrar las funciones de los activos físicos y administrar las consecuencias de sus fallas.

² PEREZ, Carlos Mario. Los indicadores de gestión. Soporte y Cia Ltd, 2007 p.11.

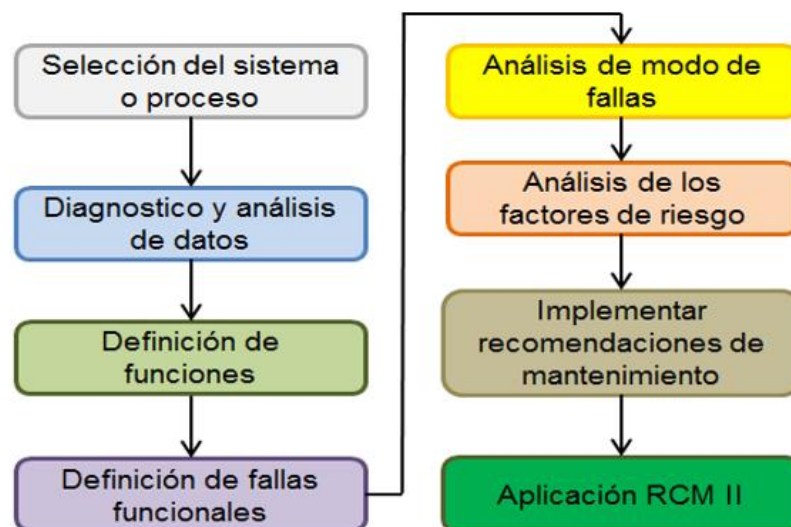
John Moubray define RCM como: El mantenimiento centrado en confiabilidad es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional.³

3.3.1 Metodología de desarrollo RCM

El RCM se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen, busca mejorar la estructura del mantenimiento en la empresa, haciendo posible la planeación y ejecución de todo lo relacionado con la línea de equipos, para prevenir fallas.

El objetivo del RCM es que los esfuerzos deben ser dirigidos a mantener la función de los equipos, implicando conocimiento en detalle de las causas que la interrumpen o dificultan, los efectos de falla son clasificados de acuerdo al impacto en la seguridad, la operación y el costo.

Figura 12. Metodología para una implementación RCM II.



³ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Gran Bretaña: Aladon Ltd, 2004. p.7

3.3.2 Normas SAE JA1011 Y 1012

En lo referente a la Norma SAE JA 1011, esta no presenta un proceso RCM estándar. Su título es: “Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”. Este estándar muestra criterios con los cuales se puede comparar un proceso. Si el proceso satisface dichos criterios, se lo considera un proceso RCM, caso contrario no lo es.

Por su parte, en la norma SAE JA 1012, se establece que es una guía para la norma del RCM, pero no intenta ser un manual ni una guía de procedimientos para realizar el RCM.

3.3.3 Preguntas claves del RCM

La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso RCM. Según esta norma las siete preguntas básicas son:

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
2. ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
7. ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?

3.3.4 Funciones y niveles de desempeño

Primero se debe definir las funciones del equipo que sus usuarios quieren que hagan con un nivel de funcionamiento aceptable y en su contexto operacional, se requiere dos cosas:

- Determinar qué es lo que los usuarios quiere que haga este activo.
- Asegurar que el activo sea capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga.

El primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operativo, junto a los parámetros de funcionamiento deseado, se dividen en dos categorías:

- **Funciones primarias:** Están asociados con velocidad, volumen y capacidad de almacenamiento, la calidad del producto también debe ser considerado en ese punto.
- **Funciones secundarias:** Están relacionadas con seguridad, control, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia de operación, cumplimiento de normas ambientales, apariencia.

3.3.5 Fallas funcionales

Son los sucesos (Estados de fallas) que pueden hacer que un activo deje de funcionar al nivel requerido, lo que es conocido comúnmente como falla funcional, estas fallas sólo pueden ser identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo.

3.3.6 Modos de fallas⁴

Es una posible causa por el cual un equipo puede llegar a un estado de falla o falla funcional. Al describir cada modo de falla se debe considerar como mínimo un verbo y un sustantivo. Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos de la siguiente manera:

⁴Universidad Politécnica Salesiana, Capítulo 1. Introducción al mantenimiento RCM, Ecuador. [En línea] http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/931/5/Capitulo_1.pdf [Citado el 30 de Julio del 2014]

- **Capacidad decreciente:** Es cuando un activo físico decae por debajo del funcionamiento deseado una vez puesto en servicio, a causa de deterioro, falta de lubricación, errores humanos o suciedad.
- **Aumento del funcionamiento deseado:** Es cuando el funcionamiento deseado aumenta hasta que el activo no puede responder. Causando aumento del deterioro y provocando que el activo no sea confiable y por lo tanto deje de ser útil, esto causado por sobrecarga prolongada.
- **Insuficiencia capacidad inicial:** Son situaciones en las que el funcionamiento deseado está fuera del rango de capacidad inicial desde el comienzo, rara vez afectando el activo en su totalidad, afecta uno o dos componentes, pero estos puntos débiles perjudican la operación de toda la cadena.

Las gráficas de probabilidad de falla en función del tiempo (Ver figura 13), permiten saber cómo se comportan las fallas existentes en el tiempo de vida del activo.

Tipo A: Conocida como curva de la bañera, inicia con probabilidad de falla alta llamada mortalidad infantil seguida de probabilidad de falla constante y finaliza con una probabilidad de falla alta conocida como desgaste.

Tipo B: Inicia con una probabilidad de falla constante seguido de una región de probabilidad alta, se recomienda implementar un límite de vida para evitar la falla.

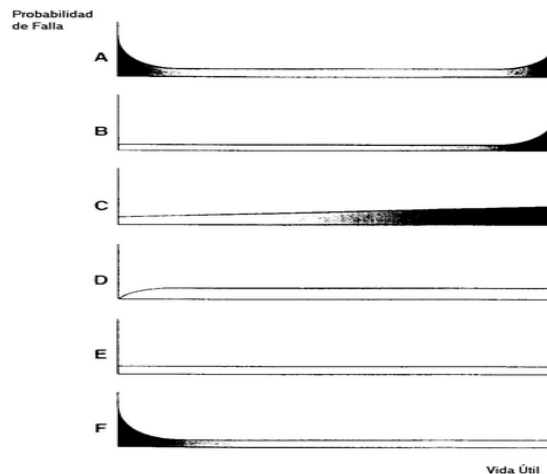
Tipo C: La probabilidad de falla aumenta gradualmente, no representa límite ni edad de desgaste, en este caso no es aplicable la teoría de límite de vida.

Tipo D: Inicia con probabilidad baja de falla al ser un activo nuevo, luego representa un aumento rápido de probabilidad hasta lograr una estabilidad.

Tipo E: Representa probabilidad de falla relativamente constante a lo largo de todas las edades

Tipo F: Inicia con una probabilidad de falla alta seguido de un decrecimiento de la probabilidad hasta un valor relativamente constante o un aumento lento.

Figura 13. Patrones de falla en función del tiempo.



Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad

3.3.7 Efectos de las fallas

Consiste en enlistar los efectos de cada falla, que describan lo que ocurre con cada modo de falla. Debe consignarse lo siguiente:

- Qué evidencia existe (Si la hay) de que la falla ha ocurrido.
- De qué modo (Si la hay) representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- De qué modo (Si la hay) afecta a la producción o a las operaciones.
- Los daños físicos (Si los hay) causados por la falla.
- Que debe hacerse para reparar la falla

El proceso de consignar estas preguntas produce sorprendentes oportunidades de mejora del funcionamiento y la seguridad, evitando los errores

3.3.8 Consecuencias de las fallas

Cada una de las fallas afecta el proceso productivo, Estas consecuencias son las que ejercen mayor influencia para tratar de prevenir cada una de las fallas, RCM clasifica estas consecuencias en cuatro grupos:

- **Consecuencias operacionales:** Cuando una falla afecta la producción.
- **Consecuencias no operacionales:** Cuando las fallas no afectan ni a la seguridad ni a la producción, implicando un único gasto de reparación.
- **Consecuencias en el medio ambiente y en la seguridad:** Una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien y si infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente.
- **Consecuencias de fallas no evidentes:** Son las fallas que no tienen impacto directo, pero generan otras fallas con consecuencias serias.

3.3.9 Tareas proactivas⁵

Son las acciones que tienen por objetivo prevenir que el componente llegue a un estado de falla. RCM utiliza los términos de tareas de restauración programadas, tareas de descarte programadas y tareas en condición programadas.

- **Tareas de restauración y de descarte programadas:** Las tareas de restauración abarcan la refabricación de un componente del equipo antes de que culmine la vida útil programada. Las tareas de descarte programado implica deshacerse de un ítem antes del tiempo programado, sin importar la condición en ese momento.
- **Tareas en condición:** Se usan para detectar las fallas potenciales de manera que se pueda tomar una acción para evitar las consecuencias que traerán si generan en fallas funcionales.

3.3.10 Acciones a falta de

Cuando no es posible determinar para un modo de falla una tarea que sea técnicamente factible, la técnica RCM reconoce las siguientes tres categorías:

⁵MORERA ARDILA, Víctor Hugo y VALENCIA QUINTERO, Carlos Antonio. Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad para la productora de concreto Hormigón Colombia S.A. p 55

Rediseño: Consiste en realizar modificaciones en la capacidad interna del sistema, implicando modificaciones en el hardware y procedimientos.

Descubrimiento de fallas: Consiste en controlar las funciones periódicamente para determinar si es que hubo fallas.

Mantenimiento no programado: Implica no realizar ningún esfuerzo en prevenir los modos de fallas a los que es aplicado, de modo que se permite que las fallas sucedan y luego se reparan.

3.3.11 Diagrama de decisión RCM⁶

Define la rutina de mantenimiento que será realizado y las frecuencias, que fallas son lo suficientemente serias para justificar un rediseño y que se dejará como mantenimiento no programado, para poder llegar a establecer cuál es la técnica de mantenimiento más adecuada.

La hoja de decisión está dividida en 16 columnas. Las primeras 3 (F, FF, FM) identifican el modo de falla que se analiza en esa línea. Las siguientes 4 columnas son para evaluar las consecuencias de cada modo de falla, las siguientes 3 columnas registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva y que tipo de tarea, si se deben registrar tareas a falta de se completan en las columnas H4, H5, S4, estas columnas sólo responden si las 3 anteriores siempre fueron no.

Las últimas 3 columnas se utilizan para colocar la tarea propuesta, su frecuencia y quién ha sido designado para ejecutarla. En la columna Tarea propuesta, también se utiliza para especificar si el modo de falla requiere rediseño o si no se programará mantenimiento.

⁶ PEREZ CONTRERAS, Beatriz y PLATA TORRES, Fabio. Modelo del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II de los equipos de la división de hidrocarburos y explotación de minerales "H&EM" de la empresa Drummond Ltd Colombia. P 85

3.4 CONCEPTO DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Es una metodología que permite realizar una clasificación o jerarquización de los procesos, sistemas y equipos, facilitando la toma de decisiones acertadas y efectivas este análisis se utilizará para:

- Diseñar una estructura de mantenimiento.
- Priorizar el plan de mantenimiento respecto al equipo.
- Diseñar sistemas de mantenimiento a los equipos más críticos.
- Establecer asesoría al personal de bodega para priorizar los equipos.

3.4.1 Método de los factores ponderados⁷

Matemáticamente podemos decir que la criticidad se puede expresar como:

Criticidad = Frecuencia de fallas x Consecuencia

En el análisis de criticidad se manejan tres zonas de clasificación: alta criticidad, mediana criticidad, baja criticidad, ya implementado estas tres clasificaciones se nos facilita implementar un plan estratégico para identificar los equipos más críticos hasta los menos críticos.

Los criterios para realizar un análisis de criticidad generalmente son: frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costo del mantenimiento y seguridad y medio ambiente.

Consecuencia = (Impacto operacional x Flexibilidad operacional) + (Costo de mantenimiento) + (Impacto seguridad y medio ambiente)

⁷MORERA ARDILA, Víctor Hugo y VALENCIA QUINTERO, Carlos Antonio. Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad para la productora de concreto Hormigón Colombia S.A. p 60

3.5 INDICADORES DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

Permiten evaluar los resultados de una gestión específica frente a los objetivos y metas propuestas por el planificador del mantenimiento, se consideran varios tipos de indicadores importantes como confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, cumplimiento y un análisis de Weibull.

3.5.1 Disponibilidad

Es la disposición en la que el equipo esté preparado para realizar su función. Se expresa y se calcula matemáticamente así:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{TPER}}{\text{TPER} + \text{TPPR}}$$

Dónde:

TPER: Tiempo promedio entre reparaciones, **TPPR:** Tiempo promedio para reparar

3.5.2 Confiabilidad

Es la expectativa o probabilidad de un equipo específico que bajo operación cumpla con los requerimientos en un tiempo estipulado sin inconvenientes. Se puede calcular por **Tiempo Promedio para Fallar (TPPF)** de la siguiente manera:

$$\text{TPPF} = \frac{\text{CHO}}{\text{NTF}}$$

Dónde:

CHO: Cantidad de Horas de Operación, **NTF:** Número Total de Fallas

3.5.3 Mantenibilidad

Es el tiempo implementado para llevar un equipo devuelta a su operación, **tiempo promedio para reparar (TPPR)**, Se expresa de la siguiente manera

$$TPPR = \frac{TFS}{PNP}$$

Dónde:

TPPR: Tiempo promedio para reparar, **TFS:** Sumatoria de Tiempo Fuera de Servicio, **PNP:** Paradas No Programas

3.5.4 Cumplimiento

Permite medir la ejecución de actividades programadas para los respectivos mantenimientos y/o las órdenes de trabajo que se planearon para la ejecución de una actividad planificada, Se expresa de la siguiente ecuación:

$$\text{Cumplimiento} = \frac{\text{Número Total de OT Realizadas a Tiempo}}{\text{Número Total de OT Generadas}}$$

Dónde:

OT = Ordenes de Trabajo

Número Total de OT Generadas = OT ejecutadas + OT pendientes por ejecutas

3.5.5 Análisis estadístico Weibull

Proporciona predicciones de análisis de fallas y fracasos razonablemente precisas con muestras muy pequeñas. Proporciona una representación gráfica simple y útil.

Fórmula de la Distribución Acumulada de Weibull.

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta}$$

Dónde: β = *Parámetro de forma* y η = *Parámetro de escala*

Respuestas esperadas de Weibull: Tiempo de vida, Tiempo hasta que un mecanismo falle, ¿Cuántas fallas se pueden esperar en un determinado tiempo?

3.5.6 Interpretación del parámetro de forma β

$\beta < 1$: Tasa de riesgo decreciente

Implica mortalidad infantil, si esto ocurre puede existir:

- Carga, inspección o prueba inadecuada
- Problemas de manufactura
- Problemas de reparación

$\beta = 1$: Tasa de riesgo Constante

Implica fallas aleatorias (Distribución Exponencial), esto quiere decir que una parte vieja es tan buena como una nueva, si esto ocurre:

- Mezcla de modos de falla
- Las fallas pueden deberse a eventos externos, como luminosidad o errores humanos
- Errores de mantenimiento.

$1 < \beta < 4$: Tasa de riesgo Creciente

Si esto ocurre:

- La mayoría de los rodamientos y engranes fallan
- Corrosión o erosión
- El remplazo programado puede ser efectivo en costo
- Rodamientos

$\beta > 4$: La tasa de riesgo crece rápidamente

Implica edad avanzada y rápido desgaste, si esto ocurre sospeche de:

- Propiedades del material.
- Materiales frágiles como la cerámica
- Variabilidad pequeña en manufactura o material.

4. DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO

Para evaluar la situación actual del mantenimiento en la empresa MAG INGENIEROS LTDA y su diagnóstico tomaremos en cuenta los siguientes aspectos evaluados por medio de una auditoría (Ver Anexo C):

4.1 ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

- **Posición de la empresa frente al mantenimiento:** MAG INGENIEROS LTDA está comprometida con un sistema de mejora continua de sus servicios, procesos administrativos y productivos permitiendo la optimización mejorando los índices de calidad y servicio, con esto la empresa ve la necesidad de implementar un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II.
- **Interrelación con otras áreas:** El mantenimiento es un proceso que requiere del apoyo de las diferentes áreas donde los encargados del mantenimiento crean un ambiente de comunicación y apoyo con el personal de otras áreas para trabajar conjuntamente.
- **Servicio de mantenimiento por terceros:** Lo referente al mantenimiento especializado como lo son la calibración de válvulas de alivio, mangueras para realizar los procesos de sandblasting y granallado, torquímetros entre otros son realizados por empresas externas.

4.2 PLANEACIÓN DEL MANTENIMIENTO

La empresa no sigue un plan de mantenimiento, las actividades se realizan por medio de rutinas simples y algunas veces dadas por los proveedores, son realizadas por los mecánicos que conocen a fondo las acciones correctivas que se les realizan a los equipos de acuerdo a las horas de funcionamiento y no por condición del equipo.

4.3 DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

La información técnica de la línea de equipos de la empresa se presenta en formatos desactualizados donde en la mayoría, la información contenida sobre repuestos está incompleta, y algunos no corresponden al equipo, trayendo como consecuencia escasez de información para la resolución de problemas.

4.4 PERSONAL DEL MANTENIMIENTO

Son personas capacitadas técnicamente para realizar labores correspondientes a sus conocimientos mecánicos y eléctricos (Ver figura 15), son de vital importancia dentro de la empresa debido a las acciones que realizan de mantener los activos.

4.5 SISTEMAS INFORMÁTICOS

La empresa no maneja ningún tipo de herramienta informática ni base de datos para la gestión del mantenimiento.

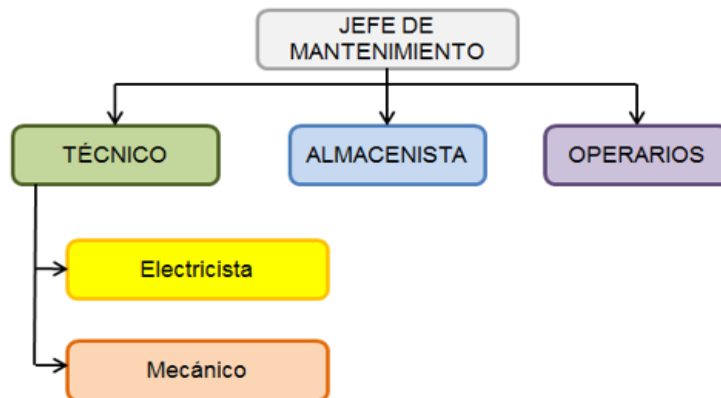
4.6 COSTOS DEL MANTENIMIENTO

El control de costos no se ha implementado en la gestión del mantenimiento, esto se puede manejar por medio de registros adecuados donde se evidencia los costos por mano de obra, materiales, repuestos y tiempo involucrado en esta actividad por tal motivo se debe tener en cuenta en el diseño del plan de mantenimiento.

4.7 ORGANIZACIÓN DEL TALLER PARA MANTENIMIENTO

El área de mantenimiento cuenta con un espacio donde funciona el taller de mantenimiento y también está el área de almacenamiento de herramientas y equipos de la empresa.

Figura 15. Jerarquía del mantenimiento.



4.8 ANÁLISIS DE LOS ASPECTOS ORGANIZATIVOS DE LA EMPRESA PARA DETERMINAR LA CONVENIENCIA DE REALIZAR EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO⁸

Para determinar la conveniencia de involucrar a la organización en el desarrollo de un mantenimiento preventivo se deben estudiar los siguientes aspectos.

- **Jornada de trabajo:** Se diferencian dos clases de empresas, las que trabajan en un solo turno y las que cuentan con un número determinado de turnos que cubren las 24 horas del día. En el caso de la empresa que trabaja en un solo turno, si se produce un daño o avería, la producción podrá detenerse y el tiempo que allí se pierde puede ser recuperado extendiendo el turno.
- **Tamaño de la empresa:** Por simple observación, los costos originados por el daño de un equipo son más relevantes en una empresa pequeña que en una empresa grande.
- **Tipo de proceso:** En procesos continuos, un paro debido a una avería implica una reducción en la disponibilidad de equipos. En el caso ser en serie esto implica un paro general, y si se trabaja bajo pedido se sufrirá un retardo en la entrega.

⁸TORRES, Bernardo. Análisis y desarrollo de la aplicación informática para el mantenimiento preventivo. Valencia: Alfaomega, 2000.

- **Ritmo de la actividad:** La actividad de una empresa se puede considerar como estacional o permanente, La actividad estacional se concentra en periodos determinados del año y la permanente cuando es continúa a lo largo del año.
- **Grado de automatización:** Cuanto más automatizada este la empresa, mayores recursos deberán presupuestarse para el mantenimiento.
- **Inversión:** Se pueden clasificar en las que su inversión es mayor a 5000 millones, las que su inversión está entre 1000 y 5000 millones y las que su inversión es menor o igual a 1000 millones de pesos.

4.8.1 Evaluación organizativa de la empresa

Antes de elaborar un plan de mantenimiento debemos conocer todos los aspectos organizativos, es por esto que se evaluará la empresa MAG INGENIEROS LTDA a partir de los valores dados (Ver tabla 6) se medirá si es factible realizar un mantenimiento preventivo tomando la siguiente ponderación:

- Si la puntuación suma entre 31 y 61 puntos, es necesaria la aplicación del mantenimiento preventivo.
- Si la puntuación está entre 26 y 30 puntos, debe realizarse un estudio en profundidad para determinar la conveniencia de la aplicación del mantenimiento preventivo.
- Si la puntuación es menor a 26 puntos, la empresa no requiere la implementación de un plan de mantenimiento preventivo.

En la siguiente tabla se muestran las características que cualifican a la empresa y en puntaje que representa:

Tabla 6. Índices de evaluación de aspectos organizativos de la empresa.

| ASPECTO | PUNTUACIÓN |
|--------------------------------|------------|
| JORNADA DE TRABAJO | |
| Tres turnos | 10 |
| Dos turnos | 5 |
| Un turno | 1 |
| TAMAÑO DE LA EMPRESA | |
| Grande | 10 |
| Mediana | 5 |
| Pequeña | 1 |
| TIPO DE PROCESO | |
| Continuo | 10 |
| Serie | 5 |
| Por lotes | 1 |
| RITMO DE LA ACTIVIDAD | |
| Permanente | 10 |
| Estacional | 5 |
| GRADO DE AUTOMATIZACIÓN | |
| Alta | 10 |
| Mediana | 5 |
| Baja | 1 |
| INVERSIÓN | |
| Grande | 10 |
| Mediana | 5 |
| Pequeña | 1 |

Fuente: TORRES, Bernardo. Análisis y desarrollo de la aplicación informática para el mantenimiento preventivo.

En la Tabla 7. Se muestran los resultados para la empresa MAG INGENIEROS LTDA que acuerdo a lo evaluado, se concluye que la empresa requiere de la implementación de un programa de mantenimiento preventivo.

Tabla 7. Evaluación organizacional en la empresa MAG INGENIEROS LTDA para el proceso de granallado y pintura de superficies metálicas.

| ASPECTO | PUNTUACIÓN |
|--------------------------------|------------|
| JORNADA DE TRABAJO | |
| Dos turnos | 5 |
| TAMAÑO DE LA EMPRESA | |
| Mediana | 5 |
| TIPO DE PROCESO | |
| Por lotes | 1 |
| RITMO DE LA ACTIVIDAD | |
| Permanente | 10 |
| GRADO DE AUTOMATIZACIÓN | |
| Mediana | 5 |
| INVERSIÓN | |
| Mediana | 5 |
| TOTAL | 31 |

4.9 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO

Actualmente la empresa no cuenta con un sistema de administración que incluya planeación, programación y ejecución de las actividades del mantenimiento. Las falencias encontradas son las siguientes:

- La información técnica tanto de los equipos como del mantenimiento se encuentra dispersa y muchas veces se carece de ella, trayendo como consecuencia escasez de información.
- El mantenimiento de los equipos se encamina hacia lo correctivo, algunas veces sin órdenes de trabajo que ayuden a controlar las actividades y los costos.
- El mantenimiento ejecutado es en gran parte repetitivo, realizado con visión reparadora y por experiencia individual y se realiza poca inspección de los equipos en operación.

- No se cuenta con el manejo de indicadores para evaluar la gestión del mantenimiento, respecto a los costos no hay forma de cuantificarlos, ni registrar los sobrecostos que se puedan presentar al igual que el tiempo que involucra la actividad no se registra y es necesario incluir estos conceptos al programa de mantenimiento.

Para la solución de estos problemas:

- Se requiere un inventario de equipos donde se verificará el estado de cada uno y posteriormente se realizara una codificación para llevar el control de estos para luego realizar un análisis criticidad para dirigir el mantenimiento a los equipos más críticos.
- Elaboración de programas de mantenimiento preventivo bajo la técnica RCM II con implementación de un análisis estadístico de confiabilidad Weibull.
- Diseño de un sistema de información para el control de la información como: Fichas técnicas, hojas de vida, cronograma de mantenimiento preventivo, indicadores de gestión, costos, proveedores, control de inventarios entre otros.

5. DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Para llevar a cabo el programa de mantenimiento preventivo se realizó un inventario y codificación de la línea de equipos de la empresa, permitiendo establecer la cantidad y clase de equipos existentes.

5.1 INVENTARIO Y CODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS

Permite conocer el valor de sus activos fijos, además esto ayuda a llevar un mejor manejo de todas las máquinas y equipos en las labores de mantenimiento.

5.1.1 Codificación

Permite la identificación de cada uno de los equipos de acuerdo a las diferentes áreas y características de los mismos.

Al tratarse de una empresa contratista de acuerdo al proyecto a ejecutar, realiza alianzas estratégicas como consorcios o unión temporal con otras empresas, en este caso se unen los equipos y también compran otros en conjunto para el desarrollo del proyecto, el gerente de MAG INGENIEROS LTDA en el proceso de codificación recomienda dentro del sistema alfanumérico, que el primer subcódigo sea referente al propietario del equipo, luego la clase de equipo y por último el número consecutivo.

Figura 16. Esquema codificación de equipos.

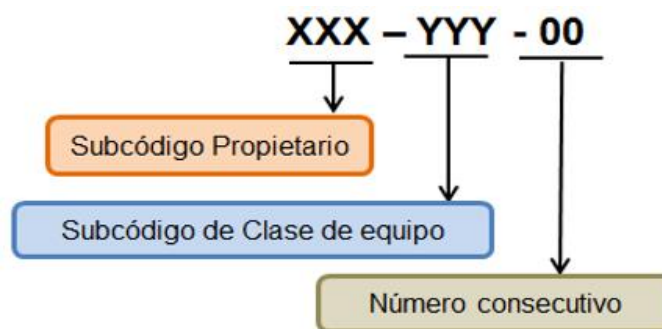


Tabla 8. Subcódigo de propietarios de los equipos.

| CODIGO | PROPIETARIO |
|-----------|------------------------------------|
| MAG | Miguel Ángel García |
| MAG - ING | MAG ingenieros Ltda. |
| JG - MAG | Jarby García & Miguel Ángel García |
| MAG - HM | Miguel Ángel García y Henry Blanco |

Tabla 9. Subcódigo de clase de equipo.

| CODIGO | EQUIPO |
|--------|--|
| CP | Compresor |
| PE | Planta eléctrica |
| GR | Equipo granallado |
| EPE | Equipo pintura eléctrica |
| ESE | Equipo soldadura eléctrico |
| ESD | Equipo soldadura diésel |
| BN | Bomba Neumática |
| EPD | Equipo de pintura diésel |
| EPN | Equipo de pintura neumática |
| HL | Hidrolavadora Diésel |
| MB | Motobomba diésel. |
| VA | Vacuum Diésel (Recolector de granalla) |
| VC | Vibro compactador |
| PGD | Planta generadora Diésel |

Ejemplos de códigos de equipos:

Código del equipo: **MAG-CP-01**

Propietario del equipo: Miguel Ángel García

Clase de equipo: CP = Compresor

Número consecutivo: 01

Se procede a realizar una placa en cada una de sus herramientas y equipos con el código debido a que van a estar en interacción en el campo con herramientas de otras empresas para evitar las pérdidas y confusiones (Ver figura 17). También porque la placa del fabricante se borraba rápidamente por su uso, suciedades y pintura, dificultando la búsqueda de información al no tener datos del equipo.

Figura 17. Placa de identificación del equipo.



5.1.2 Inventario

El inventario de la empresa, estaba desactualizado por lo tanto no había un control del total de los equipos y herramientas. La realización del inventario por parte de los autores con ayuda del equipo de mantenimiento, fue un proceso tedioso ya que la mayoría de equipos no tienen una ubicación fija dentro del área de almacenamiento debido a su tamaño y uso.

En la tabla 10, se presenta el inventario de cincuenta equipos, el inventario de las herramientas menores de la empresa no se presenta aquí debido a que es muy amplio y no se van a tener en cuenta para el análisis de criticidad

Tabla 10. Inventario de equipos de la empresa MAG INGENIEROS LTDA.

|  | | MAG INGENIEROS LTDA | | ELABORADO: |
|---|---------------|---------------------------|----------------|----------------|
| | | NIT 900.151.062-9 | | 25-jun-14 |
| | | INVENTARIOS DE EQUIPOS | | ACTUALIZADO |
| | | AÑO 2014 | | |
| No | CODIFICACIÓN | DESCRIPCIÓN DEL ARTÍCULO | MARCA | MODELO |
| 1 | MAG-CP-01 | Compresor 250 CFM | INGERSOLLRAND | P-250 WCU 1998 |
| 2 | MAG-CP-02 | Compresor 250 CFM | ATLAS COPCO | XAS 125 T3 |
| 3 | MAG-CP-03 | Compresor 375 CFM | ATLAS COPCO | XAS 375 JD6 |
| 4 | MAG-CP-04 | Compresor 375 CFM | ATLAS COPCO | XAS 375 T3 |
| 5 | MAG-CP-05 | Compresor 375 CFM | ATLAS COPCO | XAS 375 T3 |
| 6 | MAG-JG-CP-01 | Compresor 375 CFM | ATLAS COPCO | XAS 375 T3 |
| 7 | MAG-ING-CP-01 | Compresor 375 CFM | INGERSOLLRAND | 375 CFM |
| 8 | MAG-CP-06 | Compresor 750 CFM | INGERSOLL RAND | DLX 750 AP |
| 9 | MAG-CP-07 | Compresor 750 CFM | ATLAS COPCO | XAS 756 CD |
| 10 | MAG-HM-CP-01 | Compresor 850 CFM | ATLAS COPCO | XAS 850 CD |
| 11 | MAG-ING-PE-01 | Planta eléctrica 86 KVA | CUMMINS | C65-D64 |
| 12 | MAG-PE-01 | Planta eléctrica 156 KVA | CUMMINS | ONAN GENSET |
| 13 | MAG-PE-02 | Planta eléctrica 45 KVA | ATLAS COPCO | QAS 45 |
| 14 | MAG-PE-03 | Planta eléctrica 220 KVA | ATLAS COPCO | QAS 220 |
| 15 | MAG-GR-01 | Equipo de granallado 3630 | WEG-OMNEX | POR ESTRUCTURA |

Tabla 10. (Continuación)

| | | | | |
|----|------------|------------------------------------|------------------|------------------------------------|
| 16 | MAG-GR-02 | Equipo de granallado 3630 H | WEG-OMNEX | POR ESTRUCTURA |
| 17 | MAG-EPE-01 | Equipo de pintura eléctrico | TITAN | 640i |
| 18 | MAG-ESE-01 | Equipo de soldadura eléctrico | MILLER | XMT 350CC/CV AUTO-LINE |
| 19 | MAG-ESE-02 | Equipo de soldadura eléctrico | MILLER | XMT 350CC/CV AUTO-LINE |
| 20 | MAG-ESE-03 | Equipo de soldadura eléctrico | MILLER | CST-280,280-230/400-460 DINSESTYLE |
| 21 | MAG-ESE-04 | Equipo de soldadura eléctrico | LINCOLN ELECTRIC | AC-DC-250 |
| 22 | MAG-ESD-01 | Equipo de soldadura diesel | MILLER | TRAILBLAZER 302 DIESEL |
| 23 | MAG-ESD-02 | Equipo de soldadura diesel | MILLER | BIG BLUE 400CXCE |
| 24 | MAG-ESD-03 | Equipo de soldadura diesel | MILLER | BIG BLUE 400CXCE |
| 25 | MAG-ESD-04 | Equipo de soldadura diesel | MILLER | BIG BLUE 400CXCE |
| 26 | MAG-BN-01 | Bomba neumática de doble diafragma | WILDEN | P15/AAAAP/BNS/BN/BN/METAL PUMPS |
| 27 | MAG-BN-02 | Bomba neumática de doble diafragma | WILDEN | PX15/AAAAP/NES/NE/NE METAL PUMPS |
| 28 | MAG-BN-03 | Bomba neumática de doble diafragma | WILDEN | PX15/AAAA/NES/NE/NE METAL PUMPS |
| 29 | MAG-EPD-01 | Equipo de pintura diesel | TITAN SPEEFLO | POWR TWIN 6900 XLT |
| 30 | MAG-EPD-02 | Equipo de pintura diesel | TITAN SPEEFLO | POWR TWIN 6900 GD |
| 31 | MAG-EPD-03 | Equipo de pintura diesel | TITAN SPEEFLO | POWR TWIN 6900 XL DI |
| 32 | MAG-EPD-04 | Equipo de pintura diesel | TITAN SPEEFLO | 0448-360 |
| 33 | MAG-EPD-05 | Equipo de pintura diesel | TITAN SPEEFLO | 0448-360 |
| 34 | MAG-EPD-06 | Equipo de pintura diesel | TITAN SPEEFLO | 290021 |
| 35 | MAG-EPD-07 | Equipo de pintura diesel | TITAN SPEEFLO | POWR TWIN PLUS DI |
| 36 | MAG-EPN-01 | Equipo de pintura neumático | XTREM GRACO | SPRAYER 70:1 |
| 37 | MAG-EPN-02 | Equipo de pintura neumático | XTREM GRACO | PNX70DH1 |
| 38 | MAG-EPN-03 | Equipo de pintura neumático | XTREM GRACO | AIRLESS 60:1 |
| 39 | MAG-EPN-04 | Equipo de pintura neumático | XTREM GRACO | AIRLESS 80:1 |
| 40 | MAG-EPN-05 | Equipo de pintura neumático | ADMIRAL SPEELFO | 860355 |
| 41 | MAG-EPN-06 | Equipo de pintura neumático | XTREM GRACO | AIRMOTOR PN245112 PLURAL |
| 42 | MAG-EPN-07 | Equipo de pintura neumático | TITAN SPEEFLO | XTREME X70:1 |
| 43 | MAG-HL-01 | Hidrolavadora diesel Hidrojet | PRO-POWER | SH178FP1 |
| 44 | MAG-MB-01 | Motobomba diesel | HI-FORCE | 186FA |
| 45 | MAG-VA-01 | VACUUM Aspirador TITAN 616HP | VECTOR | 07019 SER 314 |
| 46 | MAG-VC-01 | Vibrocompactador | DEK DROSER | F210DWJ |
| 47 | MAG-VCR-01 | Vibrocompactador tipo rana | | |
| 48 | MAG-PGD-01 | Planta generadora diesel | ATIMA | |
| 49 | MAG-PGD-02 | Planta generadora diesel | ATIMA | D186F |
| 50 | MAG-PGD-03 | Planta generadora diesel | SOKAN | F300 |

5.2 FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

Es el documento que posee información y especificaciones técnicas del equipo, siendo importante dentro del proceso de mantenimiento permitiendo identificar el equipo, el formato adoptado fue una propuesta realizada por MAG INGENIEROS LTDA y mejorada por los autores donde se dio el aval para la implementación dependiendo del equipo, En el anexo B se muestran otras fichas técnicas importantes de la empresa.

Tabla 11. Ficha técnica del compresor MAG-CP-02.

| | | | | |
|--|---|------------------------|---------|------------|
|  | FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS Y MÁQUINAS | | FECHA | 19/02/2014 |
| | | | VERSION | 02 |
| | MAG INGENIEROS LTDA | GR-F-10 | | PAGINA |
| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | | | | |
| DETALLE | | CARACTERISTICAS | | |
| Nombre del equipo | COMPRESOR | | | |
| Código | MAG-CP-07 | | | |
| Marca | ATLAS COPCO | | | |
| Modelo | XAS 756 (CD) | | | |
| Serie | 4500B17197R022265 | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| CFM | 750 CFM | | | |
| Voltaje baterías | 2 Baterías de 12 Voltios y 1000 Amperios | | | |
| Filtro Aire Unidad | Interno | P 782109 Donalson | | |
| | Externo | P782106 Donalson | | |
| Filtro Aire Motor | Interno | P 782108 Donalson | | |
| | Externo | P782105 Donalson | | |
| Filtro Primario ACPM | P 5520202199 / P55201 | | | |
| Filtro Secundario ACPM | Atlas copco # 10 | | | |
| Filtro Terciario ACPM | 299-8229 CATERPILLAR | | | |
| Filtro Aceite | 269-8325 CATERPILLAR | | | |
| Filtro Hidráulico | 0907 ATLAS COPCO-1613610500(Son dos filtros hidráulicos) | | | |
| Aceite Motor | Mobil Delvac 15W40 | | | |
| Aceite hidráulico | Atlas Copco | | | |
| Motor | Caterpillar | | | |
| Número Motor | ARGT N° 274-1170 | | | |
| Nombre del proveedor | HENRY BLANCO- ATLAS COPCO | | | |
| Fecha de Adquisición | 15-nov-10 | | | |
|  | | | | |
| Elaboró | | | Revisó | |

Tabla 12. Ficha técnica del Equipo de Granallado MAG-GR-01.


| | | | | |
|---|---|------------------------|---------|------------|
|  | FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS Y MÁQUINAS | | FECHA | 19/02/2014 |
| | | | VERSION | 05 |
| | MAG INGENIEROS LTDA | GR-F-10 | | PAGINA |
| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EQUIPO DE GRANALLADO | | | | |
| DETALLE | | CARACTERISTICAS | | |
| Nombre del equipo | EQUIPO DE GRANALLADO VERTICAL- HORIZONTAL | | | |
| Código | MAG-GR-01 | | | |
| Marca | Por estructura | | | |
| Serial | Por estructura | | | |
| Modelo | Por estructura | | | |

Tabla 12. (Continuación)

| CARACTERISTICAS | | | | |
|--|--|-------------------------|--------------------------|--|
| BLAS MODULO CON 2 WINCHES GUAYA 3/8" | Marca | Weg W22 NIMA PREMIUM | | |
| | Referencia | Z000146475 / Z000146471 | | |
| | Voltaje | 230/460 | | |
| | Amperaje | 67.6/33.8 | | |
| | RPM | 3535 | | |
| | (3) Motor de desplazamiento de 3/4 HP | Marca | Dayton | |
| | | Modelo | 2M169D | |
| | | Referencia | 344106M | |
| RPM | | 1725 | | |
| Corriente de armadura | | 8,2 Amp | | |
| Volt de armadura | 90 VDC | | | |
| CESTA COLECTOR DE POLVOS | Motor | BALDOR RELIANCE 15 HP | | |
| | Serie | F1011154135 | | |
| | Voltaje | 208/460 | | |
| | Amperaje | 37.5-34/17 | | |
| | RPM | 3450 | | |
| | Panel Principal Control Eléctrico | Marca | Omnex | |
| | | Modelo | R160 | |
| | | S/N | 1168833 | |
| | | Voltaje de alimentación | 460 V | |
| | | Número de parte | R 160-000548 | |
| | Donaldson | Modelo | TD486 | |
| | | Serial | 3476026-102 | |
| | | Numero de parte filtro | R 527079-016-002 (Son 9) | |
| | Filtro colector de polvos | Marca | Stodderd Silencers | |
| | | Modelo | C26-6 | |
| Serie | | 110526 | | |
| Cincinnati fan | Modelo | HP-6C22 | | |
| | Serial | 1103598-2 | | |
| | TAG | RBW032111 115A11964 | | |
| WINCE SISTEMA CON 2 WINCHES GUAYA 3/8" | Motor | Sew | | |
| | Voltaje | 230YY/460Y | | |
| | Amperaje | 12,9/6,5 | | |
| | RPM | 1750 | | |
| | SO | 870080620.11.11.001 | | |
| | Torque | 354 LB / IN | | |
| | ESTRUCTURA DE DESPLAZAMIENTO | Marca | THERN | |
| Modelo | | 4WM2 | | |
| Serie | | PN A 7470 | | |
| Patín | | Marca | THERN | |
| | | Modelo | 1-PT | |
| | | Capacidad | 1 Ton | |
| | Serie | 11030346 | | |
| (1) PATIN CON MOTOR DE 1/2 HP | Marca | Dayton | | |
| | Modelo | 6Z417B | | |
| | Voltaje | 9.0 V | | |
| | Amperaje | 5.0 | | |
| | Ref Patín 2 | 11030342 | | |
| (4) PATINES AUXILIARES DE 1 TON | Ref Patín 1 | 11030378 | | |
| | Ref Patín 2 | 11030342 | | |
| | Ref Patín 3 | 11030379 | | |
| | Ref Patín 4 | 11030375 | | |
| OBSERVACIONES | Incluye: 1 estructura metálica con cadena, 1 estructura metálica con poleas grande, 1 canasta metálica cuadrada con base cónica, mangueras de 4" x 20 Mts. | | | |

Tabla 12. (Continuación)



Tabla 13. Ficha técnica de la Planta Eléctrica MAG-PE-03.




| | | |
|--|--|----------------------------|
|  | FICHA TÉCNICA DE MÁQUINAS-EQUIPOS | FECHA 19/02/2014 |
| MAG INGENIEROS LTDA | GR-F-10 | VERSION 05 |
| | | PAGINA 1 DE 1 |
| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | | |
| DETALLE | CARACTERÍSTICAS | |
| Nombre del equipo | PLANTA ELECTRICA 220 KVA | |
| Código | MAG-PE-03 | |
| Marca | ATLAS COPCO | |
| Modelo | QAS 220 | |
| Serial | YA3-027056-DW612498-WUX612498 | |
| OBSERVACIONES | | |
| Voltaje baterías | 12 V (SON 2 BATERIAS) | |
| Filtro de Aceite | 1092498400 | |
| Filtro de Aire | 1613950300 ATLAS COPCO | |
| Filtro Primario ACPM | ATLAS COPCP 1092 322 000 | |
| Filtro Secundario ACPM | ATLAS COPCO 1092 3221 | |
| Aceite Motor | Móvil Delvac 15W40 | |
| Aceite Motor | Petromil | |
| Factor de Potencia | 0.8 | |
| Motor | Atlas Copco | |
| Numero de motor | YY3-DW612498-WUX61213272 | |
| Proveedor | ATLAS COPCO | |
| Alternadores | | |
| Voltaje | 400 | |
| Fases | 3 | |
| Conexión | Delta | |
| RPM | 1500 | |
| Amperaje | 288 | |
| KW | 176 | |

Tabla 13. (Continuación)

| | |
|--|---------------------------|
|  | |
| REALIZÓ: JAIRO ACOSTA | REVISÓ: JHONATAN MARTINEZ |


Tabla 14. Ficha técnica del Equipo de Soldadura Diesel MAG-ESD-01.

| | | | |
|--|--|----------------|------------|
|  | FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS Y MÁQUINAS | FECHA | 19/02/2014 |
| | | VERSION | 05 |
| | | PAGINA | 1 DE 1 |
| MAG INGENIEROS LTDA | GR-F-10 | | |
| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | | | |
| DETALLE | CARACTERISTICAS | | |
| Nombre del equipo | EQUIPO DE SOLDADURA DIESEL (MOTOSOLDADOR) | | |
| Codigo | MAG-ESD-01 | | |
| Marca | MILLER | | |
| Modelo | TRAILBLAZER 302 DIESEL | | |
| Serial | MA250101M | | |
| OBSERVACIONES | | | |
| Motor | KUBOTA DIESEL ENGINE | | |
| Modelo Motor | Z482-E.D662-E D722-E. D782-E | | |
| Filtro Aceite | Coexito CO-4-1402 | | |
| Filtro Combustible | Donaldson P502138 | | |
| Filtro Aire | Donaldson AF-3715 | | |
| Filtro Trampa | Donaldson PF872 | | |
| Aceite Motor | Mobil 15W40 | | |
| Proveedor | CODINTER | | |
| Adquisición | 20-sep-10 | | |
| Nota | Incluye porta electrodo 300 amp black panter. MASA 500 amp, Terminales cable soldador 1/0 *30 mts, batería willard | | |
|  | | | |
| REALIZÓ: JAIRO ACOSTA | REVISÓ: JHONATAN MARTINEZ | | |

5.3 HOJAS DE VIDA DE LOS EQUIPOS

En este documento se registra las actividades correspondientes a mantenimiento aplicadas a los equipos. La idea principal es llevar un registro de los mantenimientos realizados para poder programar los próximos según lo indique el plan de mantenimiento y las rutinas programadas del mismo.

Tabla 15. Formato de hoja de vida para los equipos.

|  | | HOJA DE VIDA EQUIPOS REGISTRO DE MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS Y EQUIPOS | | | Página 1 de 1 | | | | |
|---|-----------------------|---|-----------|-------------|--------------------|--------------|-------------|-------|--------------|
| | | | | | Tipo de documento: | | | | |
| Nombre de máquina Equipo | | COMPRESOR | | | Marca | | ATLAS COPCO | | |
| Modelo | | XAS 123 T3 | | | Serie | | HOL 619325 | | |
| Propietario | | MAG INGENIEROS LTDA | | | Tipo | | DIESEL | | |
| Fecha | | 12-ene-15 | | | Codificación | | MAG-CP-02 | | |
| DESCRIPCIÓN | TIPO DE MANTENIMIENTO | | FECHA | MTTO ACTUAL | | PROXIMO MTTO | | | RESPONSABLE |
| | Preventivo | Correctivo | | Km | Horas | Días | Km | Horas | |
| Recibo y verificación del equipo proveniente del TK-2400 | X | | 12-ene-15 | | 245 | | | 445 | Edwin Dávila |
| Limpieza, latonería y pintura general del equipo según colores establecidos por fabricante | X | | 12-ene-15 | | 245 | | | 445 | Edwin Dávila |
| Cambio de filtros de unidad de aire interno y externo por cumplimiento vida útil | X | | 12-ene-15 | | 245 | | | 500 | Jeison Muñoz |
| Lavado y cambio de filtro primario de combustible al estar deteriorado | | X | 12-ene-15 | | 245 | | | 500 | Jeison Muñoz |
| Limpieza del radiador del equipo y aletas de culata del motor | X | | 12-ene-15 | | 245 | | | 500 | Edwin Dávila |
| OBSERVACIONES: | | | | | | | | | |
| Realizar los reportes al historial de hoja de vida del equipo, actualizar alarmas de los repuestos cambiados y programarlos de acuerdo al tiempo de operación, depositar los filtros dañados en un lugar destinado para ello. Realizar cada una de estas actividades con equipos de protección personal | | | | | | | | | |
| ELABORÓ | | | | | REVISÓ | | | | |
| JAIRO ACOSTA/ LEYDI BARRERA | | | | | JHONATAN MARTINEZ | | | | |

6. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

La empresa MAG INGENIEROS LTDA cuenta con un inventario de cincuenta equipos, debido a esto es necesario realizar una jerarquización de los equipos involucrados para enfocar el mantenimiento de manera proporcional según su importancia.

Los equipos son clasificados en tres categorías: equipos críticos, equipos de media criticidad y equipos no críticos.

- **Equipos críticos:** Son los equipos que tienen un alto impacto en la empresa o en el servicio que prestan.
- **Equipos de media criticidad:** Son los equipos, que al presentar una falla o un paro indeseado, ocasionan un impacto significativo, pero sin consecuencias mayores.
- **Equipos no críticos:** Son los equipos, que al presentar una falla o un paro indeseado, a lo mucho causarán molestias e incomodidades, sin impactos importantes.

Figura 18. Proceso de análisis de criticidad.

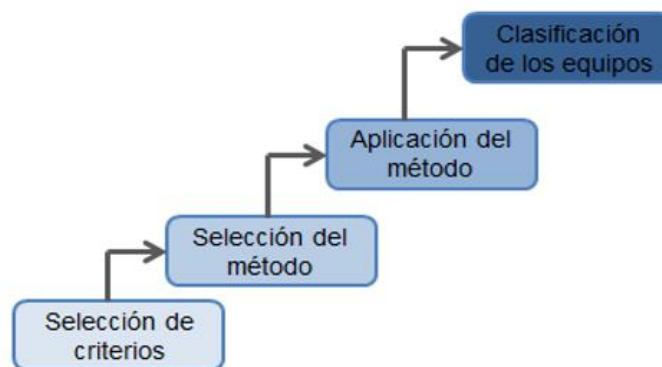


Tabla 16. Criterios para calcular la criticidad de los equipos.

| Frecuencia de fallas (FF) | |
|--|----|
| Pobre, mayor a 2 fallas/año | 4 |
| Promedio, 1-2 fallas/año | 3 |
| Buena, 0,5-1 fallas/año | 2 |
| Excelente, menos de 0,5 fallas/año | 1 |
| Impacto operacional (IO) | |
| Pérdida de todo el despacho | 10 |
| Para del sistema y tiene repercusión en otros sistemas | 7 |
| Impacta en niveles de inventario o calidad | 4 |
| No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción | 1 |
| Flexibilidad operacional (FO) | |
| No existe opción de producción y no hay función de repuesto | 4 |
| Hay opción de repuesto compartido/ almacén | 2 |
| Función de repuesto disponible | 1 |
| Costo del mantenimiento (CM) | |
| Mayor o igual a \$ 1.000.000 | 2 |
| Inferior a \$ 1.000.000 | 1 |
| Impacto en seguridad medio ambiente higiene (SAH) | |
| Afecta la seguridad humana externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización | 8 |
| Afecta ambiente/instalaciones | 7 |
| Afecta instalaciones causando daños severos | 5 |
| Provoca daños menores (Ambiente y seguridad) | 3 |
| No provoca ningún tipo de daños a personas instalaciones o ambiente | 1 |

Fuente: PARRA, Carlos. Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), Ingecon 2011

6.1 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD⁹

Para realizar el análisis empleamos el método de evaluación de criticidad basada en el concepto del riesgo, donde permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos en función de su impacto global.

Criticidad = Frecuencia de fallas x Consecuencia

Consecuencia = (Impacto operacional x Flexibilidad operacional) + (Costo de mantenimiento) + (Impacto seguridad y medio ambiente)

Estos factores son evaluados en reuniones de trabajo con la participación de las distintas personas pertenecientes involucradas en el contexto operacional.

⁹PARRA, Carlos. Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), Ingecon 2011

Se introducen en la fórmula de criticidad y se obtiene el valor global de criticidad (Máximo valor de criticidad = 200). La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de fallas por la suma de las consecuencias de la misma. La matriz muestra las tres categorías: *equipos críticos (C)*, *equipos de media criticidad (MC)* y *equipos no críticos (NC)*

Figura 19. Matriz de criticidad.

| | | | | | | |
|------------------------|---|----|----|----|----|----|
| FRECUENCIA DE FALLAS | 4 | MC | MC | C | C | C |
| | 3 | MC | MC | MC | C | C |
| | 2 | NC | NC | MC | C | C |
| | 1 | NC | NC | NC | MC | C |
| | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| CONSECUENCIA DE FALLAS | | | | | | |

6.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Tabla 17. Resultados de análisis de criticidad de equipos.


|  | | ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LA LÍNEA DE EQUIPOS | | | | | | VERSIÓN | | 1 |
|---|---------------|---|----|----|----|-----|----|-----------|------------|--------|
| NIT 900.151.062-9 | | GR-F-10 | | | | | | PÁGINA | | 1 de 2 |
| | | FECHA CREACIÓN | | | | | | 30-jul-14 | | |
| ITEM | CÓDIGO | EQUIPO | IO | FO | CM | SAH | CO | FF | CRITICIDAD | |
| 1 | MAG-CP-01 | Compresor 250 CFM | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 4 | 116 | |
| 2 | MAG-CP-02 | Compresor 250 CFM | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 4 | 116 | |
| 3 | MAG-CP-03 | Compresor 375 CFM | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 4 | 116 | |
| 4 | MAG-CP-04 | Compresor 375 CFM | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 4 | 116 | |
| 5 | MAG-CP-05 | Compresor 375 CFM | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 4 | 116 | |
| 6 | MAG-JG-CP-01 | Compresor 375 CFM | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 4 | 116 | |
| 7 | MAG-ING-CP-01 | Compresor 375 CFM | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 4 | 116 | |
| 8 | MAG-CP-06 | Compresor 750 CFM | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 4 | 116 | |
| 9 | MAG-CP-07 | Compresor 750 CFM | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 4 | 116 | |
| 10 | MAG-HM-CP-01 | Compresor 850 CFM | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 4 | 116 | |
| 11 | MAG-ING-PE-01 | Planta eléctrica 86 KVA | 7 | 2 | 2 | 5 | 21 | 1 | 21 | |
| 12 | MAG-PE-01 | Planta eléctrica 156 KVA | 7 | 2 | 2 | 5 | 21 | 1 | 21 | |
| 13 | MAG-PE-02 | Planta eléctrica 45 KVA | 7 | 2 | 2 | 5 | 21 | 1 | 21 | |
| 14 | MAG-PE-03 | Planta eléctrica 220 KVA | 7 | 2 | 2 | 5 | 21 | 4 | 84 | |
| 15 | MAG-GR-01 | Equipo de granallado 3630 HV | 10 | 4 | 2 | 7 | 49 | 3 | 147 | |
| 16 | MAG-GR-02 | Equipo de granallado 3630 H | 10 | 4 | 2 | 7 | 49 | 3 | 147 | |
| 17 | MAG-EPE-01 | Equipo de pintura eléctrico | 4 | 1 | 1 | 3 | 8 | 2 | 16 | |
| 18 | MAG-ESE-01 | Equipo de soldadura eléctrico | 4 | 1 | 1 | 3 | 8 | 2 | 16 | |
| 19 | MAG-ESE-02 | Equipo de soldadura eléctrico | 4 | 1 | 1 | 3 | 8 | 2 | 16 | |
| 20 | MAG-ESE-03 | Equipo de soldadura eléctrico | 4 | 1 | 1 | 3 | 8 | 2 | 16 | |
| 21 | MAG-ESE-04 | Equipo de soldadura eléctrico | 4 | 1 | 1 | 3 | 8 | 2 | 16 | |
| 22 | MAG-ESD-01 | Equipo de soldadura diesel | 4 | 2 | 1 | 5 | 14 | 2 | 28 | |

Tabla 17. (Continuación)

| | | | | | | | | | |
|----|------------|---------------------------------|----|---|---|---|----|---|-----|
| 23 | MAG-ESD-02 | Equipo de soldadura diesel | 4 | 2 | 1 | 5 | 14 | 2 | 28 |
| 24 | MAG-ESD-03 | Equipo de soldadura diesel | 4 | 2 | 1 | 5 | 14 | 2 | 28 |
| 25 | MAG-ESD-04 | Equipo de soldadura diesel | 4 | 2 | 1 | 5 | 14 | 2 | 28 |
| 26 | MAG-BN-01 | Bomba neumática doble diafragma | 7 | 2 | 1 | 3 | 18 | 1 | 18 |
| 27 | MAG-BN-02 | Bomba neumática doble diafragma | 7 | 2 | 1 | 3 | 18 | 1 | 18 |
| 28 | MAG-BN-03 | Bomba neumática doble diafragma | 7 | 2 | 1 | 3 | 18 | 1 | 18 |
| 29 | MAG-EPD-01 | Equipo de pintura diesel | 4 | 4 | 2 | 5 | 23 | 2 | 46 |
| 30 | MAG-EPD-02 | Equipo de pintura diesel | 4 | 4 | 2 | 5 | 23 | 2 | 46 |
| 31 | MAG-EPD-03 | Equipo de pintura diesel | 4 | 4 | 2 | 5 | 23 | 2 | 46 |
| 32 | MAG-EPD-04 | Equipo de pintura diesel | 4 | 4 | 2 | 5 | 23 | 2 | 46 |
| 33 | MAG-EPD-05 | Equipo de pintura diesel | 4 | 4 | 2 | 5 | 23 | 2 | 46 |
| 34 | MAG-EPD-06 | Equipo de pintura diesel | 4 | 4 | 2 | 5 | 23 | 2 | 46 |
| 35 | MAG-EPD-07 | Equipo de pintura diesel | 4 | 4 | 2 | 5 | 23 | 2 | 46 |
| 36 | MAG-EPN-01 | Equipo de pintura neumático | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 4 | 116 |
| 37 | MAG-EPN-02 | Equipo de pintura neumático | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 4 | 116 |
| 38 | MAG-EPN-03 | Equipo de pintura neumático | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 4 | 116 |
| 39 | MAG-EPN-04 | Equipo de pintura neumático | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 4 | 116 |
| 40 | MAG-EPN-05 | Equipo de pintura neumático | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 4 | 116 |
| 41 | MAG-EPN-06 | Equipo de pintura neumático | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 4 | 116 |
| 42 | MAG-EPN-07 | Equipo de pintura neumático | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 4 | 116 |
| 43 | MAG-HL-01 | Hidrolavadora diesel Hydrojet | 1 | 2 | 1 | 3 | 6 | 1 | 6 |
| 44 | MAG-MB-01 | Motobomba diesel | 1 | 2 | 1 | 7 | 10 | 1 | 10 |
| 45 | MAG-VA-01 | VACCUM (Aspirador diesel) | 10 | 4 | 2 | 7 | 49 | 3 | 147 |
| 46 | MAG-VC-01 | Vibrocompactador | 1 | 4 | 1 | 3 | 8 | 2 | 16 |
| 47 | MAG-VCR-01 | Vibrocompactador tipo rana | 1 | 4 | 1 | 3 | 8 | 2 | 16 |
| 48 | MAG-PGD-01 | Planta generadora diesel | 4 | 2 | 1 | 7 | 16 | 2 | 32 |
| 49 | MAG-PGD-02 | Planta generadora diesel | 4 | 2 | 1 | 7 | 16 | 2 | 32 |
| 50 | MAG-PGD-03 | Planta generadora diesel | 4 | 2 | 1 | 7 | 16 | 2 | 32 |

Los equipos crítico son: Compresor, Planta eléctrica, Equipo de granallado, Equipo de pintura neumático y Limpiadora y aspiradora de granalla VACCUM.

Figura 20. Equipos catalogados en la matriz de criticidad.

| | | | | | | |
|----------------------|---|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|------------------------|----|
| FRECUENCIA DE FALLAS | 4 | | | MAG-PE-01 MAG-EPN-01 MAG-CP-01 | | |
| | 3 | | | | MAG-GR-01 MAG-VA-01 | |
| | 2 | MAG-EPE-01 MAG-ESE-01 MAG-VC-01 | MAG-ESD-01 MAG-PGD-01 | MAG-EPD-01 | | |
| | 1 | MAG-HL-01 MAG-MB-01 | MAG-BN-01 | MAG-PE-02 | | |
| | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| | | CONSECUENCIA DE FALLAS | | | | |

El proceso de recopilación, análisis de criticidad, codificación, inventario, análisis FMEA, RCM II y análisis estadístico Weibull se realizó en aproximadamente en mil quinientas (1500) horas de trabajo en horario de oficina de Lunes a Sábado.

7. MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD RCM II

La metodología RCM, parte de un análisis FMEA (Análisis de modo de fallas y análisis de causa), desarrollado en un formato determinado por RCM llamado *Hoja de información RCM*, donde se consigna la siguiente información del equipo de forma ordenada: Función, Fallo funcional, Modo de fallo, Efecto de fallo.

Esta información se da a partir de la metodología RCM estipulada por la norma SAE JA1011, respondiendo a una serie de preguntas enfocando este procedimiento a un análisis correcto.

7.1 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y ANÁLISIS DE CAUSA (FMEA: Failure Mode and Effects Analysis)

Este análisis sólo se aplicará a los equipos críticos para no volver el proceso tedioso y complicado. De acuerdo al análisis de criticidad realizado en MAG INGENIEROS LTDA, los equipos que resultaron críticos se les realizaron el análisis FMEA. Debido a que algunos equipos críticos se repiten y cumplen la misma función dentro del proceso no es necesario realizar dos análisis iguales.

Tabla 18. Equipos críticos del proceso de granallado y pintura de superficies.

|  | | EQUIPOS CRÍTICOS EN EL PROCESO DE GRANALLADO Y PINTURA | | | | VERSIÓN | | | 1 |
|---|------------|--|----|----|----|----------------|----|----|------------|
| NIT 900.151.062-9 | | GR-F-10 | | | | PÁGINA | | | 1 de 2 |
| | | | | | | FECHA CREACIÓN | | | 30-jul-14 |
| ITEM | CÓDIGO | EQUIPO | IO | FO | CM | SAH | CO | FF | CRITICIDAD |
| 1 | MAG-GR-01 | Equipo de granallado 3630 HV | 10 | 4 | 2 | 7 | 49 | 3 | 147 |
| 2 | MAG-VA-01 | VACCUM (Aspirador diesel) | 10 | 4 | 2 | 7 | 49 | 3 | 147 |
| 3 | MAG-EPN-01 | Equipo de pintura neumático | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 3 | 87 |
| 4 | MAG-CP-01 | Equipo compresor 250 CFM | 10 | 2 | 1 | 8 | 29 | 3 | 87 |
| 5 | MAG-PE-03 | Planta eléctrica 220 KVA | 7 | 2 | 2 | 5 | 21 | 4 | 84 |
| 6 | MAG-EPD-01 | Equipo de pintura Diesel | 4 | 4 | 2 | 5 | 23 | 2 | 46 |

Esta metodología se desarrolla pensando en un mantenimiento proactivo y así tener decidido que realizar en caso de que ocurra una falla funcional.

Una vez que cada modo de falla es identificado, se hace posible considerar qué sucede cuando este se presenta, para así evaluar sus consecuencias y decidir que se debe hacer para anticiparlo, prevenirlo o corregirlo y si es necesario hasta rediseñarlo.

Tabla 19. Análisis FMEA para el Equipo de granallado 3630 HV.


|  | | DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO HOJA DE INFORMACIÓN RCM II | | | Versión | 1 |
|---|--|--|--|-------------|--|---|
| NIT 900.151.062-9 | | GR-F-10 | | | Fecha creación | 10/08/2014 |
| EQUIPO | Equipo de granallado 3630 HV | | | FACILITADOR | Jairo Acosta, Leydi Barrera | |
| CÓDIGO | MAG-GR-01 | | | AUDITOR | Jhonatan Martínez | |
| F | FUNCIÓN | FF | FALLA FUNCIONAL | MF | MODO DE FALLA | EFEECTO DE FALLA |
| 1 | Preparar la superficie eliminando cualquier sustancia contaminante, pintura, oxidación, corrosión, polvos, rendimiento o 35 m2/hra | A | Incapaz de desplazarse forma vertical | 1 | Bujes e inducido desgastados | Falta de lubricación provoca desgaste de bujes y estos rozan con el inducido |
| | | | | 2 | Mando eléctrico del Winche falla | Se analiza por separado, cristalización de cables |
| | | | | 3 | Freno del Winche averiado | Falta de lubricación genera desgaste del sistema |
| | | | | 4 | Motor del Winche se quema | Falta de valvulina eleva la temperatura del motor |
| | | | | 5 | Conexión eléctrica errónea del motor Winche | Conexión de motores de granallado DC y Winche AC, siendo del mismo equipo |
| | | B | Incapaz de desplazarse en forma horizontal | 1 | Motores de desplazamiento fallan | Falta de lubricación bujes, dispositivos electrónicos de protección del motor fatigados |
| | | | | 2 | Sistema de transmisión de potencia falla | Desalineación de ejes, acoplamiento liso |
| | | | | 3 | Alguno de los engranes fallan | Mala lubricación genera picadura de dientes |
| | | | | 4 | Rodamientos de las ruedas conductoras fallan | Escasa lubricación acorta vida útil de rodamientos junto a su contacto con el polvo |
| | | | | 5 | Mando eléctrico de los motores- control remoto falla | Alimentación de baterías del control, cristalización conexiones eléctricas |
| | | C | Pérdida de amperaje | 1 | Granalla insuficiente en las tolvas | Insuficiente alimentación de granalla a la tolva, revisar posibles escapes |
| | | | | 2 | Álabes de las turbinas están desgastados | Contacto con material altamente abrasivo, fractura de material álabe |
| | | | | 3 | Motores de las turbinas se queman | Falta de lubricación bujes, deterioro de elementos electrónicos de protección. |
| | | | | 4 | Dosificación errónea de la granalla | Error en cantidad calculada de granalla |

Tabla 19. (Continuación)

| | | | | | | |
|---|------------------------------------|---|---|--|--|--|
| | | D | Bajo porcentaje de remoción de sustancias o residuos | 1 | RPM de los motores bajos | Ineficiente alimentación de corriente fatiga de embobinados |
| | | | | 2 | Pérdida de las Propiedades de la granalla | Debido a la reutilización la granalla pierde las aristas y ángulos |
| | | | | 3 | Efecto de vacío ineficiente | Presencia de escapes o malos acoples, filtros muy tapados |
| | | E | Fallo en el sistema de vacío en el colector de polvos | 1 | Acoples y mangueras en mal estado | Desajustes de acoples generan escapes |
| | | | | 2 | Motor de turbina de vacío quemado | Falta de lubricación bujes, deterioro. |
| | | | | 3 | Filtros de aire tapados | Sobrelímite de vida útil |
| | | | | 4 | Álabes de la turbina de vacío desintegrada, fracturada | Presencia de alta abrasión con residuos sólidos |
| | | F | Falla del sistema eléctrico | 1 | Conexiones eléctricas defectuosas | Presencia de cables cristalizados, origen de cortos circuitos |
| | | | | 2 | Motores sobrecalentados | Elementos de protección deteriorados, bujes |
| | | | | 3 | Embobinado del motor fatigado | Vida útil de bobina, posible rozamiento con bujes sin lubricación |
| | | G | Falla en el sistema de control de la granalladora | 1 | Conectividad entre el control remoto y equipo falla | Alimentación de baterías del control, cristalización conexiones eléctricas |
| | | | | 2 | mal estado de botones | Exceso de fuerza de apriete, humedad, suciedad |
| 3 | desgaste de la batería del control | | | Sobrepaso de vida útil de baterías, limpiar terminales | | |

Tabla 20. Análisis FMEA para el Equipo VACCUM.


|  | | DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO HOJA DE INFORMACIÓN RCM II | | | Versión | | 1 |
|---|--|--|---|----|--|--|-----------------------------|
| | | | | | Página | | 1 |
| NIT 900.151.062-9 | | GR-F-10 | | | Fecha creación | | 10/08/2014 |
| EQUIPO | | VACCUM (Limpiador y aspirador de granalla) | | | FACILITADOR | | Jairo Acosta, Leydi Barrera |
| CÓDIGO | | MAG-VA-01 | | | AUDITOR | | Jhonatan Martínez |
| F | FUNCIÓN | FF | FALLA FUNCIONAL | MF | MODO DE FALLA | EFECTO DE FALLA | |
| 1 | Limpiar, dosificar y recargar granalla a las tolvas del equipo de granallado rendimiento de 10 a 12 Ton/hora | A | Deficiencia de potencia, falla del motor diesel | 1 | Baterías desgastadas, bornes contaminados | Bajo nivel de agua en una de las celdas, vida útil | |
| | | | | 2 | Motor de arranque falla | Desgaste de los bujes y Bendix (Engrane del arranque con motor Diesel) | |
| | | | | 3 | Sistema de inyección aireado | Baja cantidad de combustible. | |
| | | | | 4 | Fallo en el sistema de transmisión de potencia | Inadecuada lubricación del sistema, valvulina | |
| | | | | 5 | Fallo del sistema refrigerador | Radiador en mal estado o tapado al igual que los filtros de aceite | |
| | | | | 6 | Bandas de transmisión fallan | La suciedad de las poleas y vida útil de la banda | |

Tabla 20. (Continuación)

| | | | | | | |
|--|--|---|--|---|---|--|
| | | B | Fallo en el sistema de vacío | 1 | Bomba de vacío falla | Desgaste de empaquetaduras |
| | | | | 2 | Escapes y deterioro en mangueras de vacío | El rozamiento con la granalla succionada, rompen las tuberías con el tiempo |
| | | | | 3 | Acoplamientos y accesorios deteriorados | El rozamiento y generación de la vibración desacoplan los accesorios |
| | | | | 4 | Filtro separador de granalla en proceso de succión | La abrasión del material y Sobrelímite de la vida útil |
| | | | | 5 | Filtros de aire tapados | Contaminación del aire y la abrasión de la mezcla que entra al sistema |
| | | C | Incapacidad de compresión de aire | 1 | Daño en válvulas de entrada y salida del aire | No permite ingreso del aire a la cámara de compresión ni la salida a las líneas de presión, falta de calibración |
| | | | | 2 | Daño en el sensor gobernador del compresor el cual controla la presión de la aire | Desgaste natural del elemento electrónico, imposibilitando el control de la presión del aire |
| | | D | Falla de la bomba hidráulica para gatos de elevación | 1 | Desgaste o daño de los retenedores | Trabajo constante a altas presiones, ciclo de vida del elemento, ocasiona fugas de aceite |
| | | | | 2 | Daño en el sistema de alimentación de aceite hidráulico | Las mangueras se agrietan por presiones del fluido, influye desacoples con tuberías, calibración vida útil |
| | | | | 3 | Aceite hidráulico con baja viscosidad | Deterioro de las propiedades del aceite hidráulico debido a vida útil sobre limitada |

Tabla 21. Análisis FMEA para la Planta Eléctrica.


|  | | DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO HOJA DE INFORMACIÓN RCM II | | Versión | | 1 |
|---|--|---|------------------------|-------------|---|--|
| NIT 900.151.062-9 | | GR-F-10 | | Página | | 1 |
| EQUIPO | | Planta eléctrica 220 KVA | | FACILITADOR | | Jairo Acosta, Leydi Barrera |
| CÓDIGO | | MAG-PE-03 | | AUDITOR | | Jhonatan Martínez |
| Fecha creación | | | | | | 10/08/2014 |
| F | FUNCIÓN | FF | FALLA FUNCIONAL | MF | MODO DE FALLA | EFEECTO DE FALLA |
| 1 | Producir y suministrar energía a equipos del proceso productivo capacidad de 220 KVA | A | Fallo del motor Diesel | 1 | Baterías desgastadas, bornes contaminados | Bajo nivel de agua en una de las celdas, vida útil |
| | | | | 2 | Motor de arranque falla | Desgaste de los bujes y Bendix (Engrane del arranque con motor Diesel) |

Tabla 21. (Continuación)

| | | | | | | | |
|--|---|-----------------------------|--|---|--|---|---|
| | | | | 3 | Sistema de inyección aireado | Baja cantidad de combustible. | |
| | | | | 4 | Fallo en el sistema de transmisión de potencia | Inadecuada lubricación del sistema, valvulina | |
| | | | | 5 | Fallo del sistema refrigerador | Radiador en mal estado o tapado al igual que los filtros de aceite | |
| | | | | 6 | Bandas de transmisión fallan | La suciedad de las poleas y vida útil de la banda | |
| | | | | 7 | Filtros de aire, aceite y combustibles tapados | Contaminación del aire, aceite y vida útil sobre limitada | |
| | | | | 8 | Falla del sensor arroja niveles erróneos | Desgaste natural, marcando sobrecalentamiento, niveles incorrectos de insumos | |
| | B | Daño del inductor | | | 1 | Mal funcionamiento del acople inductor-motor | Desacoplamiento del inductor con el eje motriz, indebida lubricación y revisión |
| | | | | | 2 | Falla en los rodamientos del inducido | Desgaste debido a mala lubricación y suciedades |
| | | | | | 3 | Desalineación del eje inductor | Da origen al rozamiento con el embobinado del inducido, falta de revisión periódica |
| | C | Falla del sistema eléctrico | | | 1 | Falla en las escobillas | El rozamiento del dispositivo lo desgasta por abrasión, siendo ineficiente la alimentación de la bobina |
| | | | | | 2 | Diodos del sistema se queman | Desgaste natural del componente e imposibilita la conducción de la corriente eléctrica a los demás equipos |
| | | | | | 3 | Falla en los breques eléctricos | Por desgaste natural o frecuencia de cortos eléctricos por mala conexiones, control de la corriente eléctrica |

Tabla 22. Análisis FMEA para el Equipo Compresor.


|  | | DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO HOJA DE INFORMACIÓN RCM II | | Versión | | 1 |
|---|--|---|------------------------|-------------|--|--|
| NIT 900.151.062-9 | | GR-F-10 | | Página | | 1 |
| EQUIPO | | Compresor de aire ATLAS COPCO | | FACILITADOR | | Jairo Acosta, Leydi Barrera |
| CÓDIGO | | MAG-CP-07 | | AUDITOR | | Jhonatan Martínez |
| F | FUNCIÓN | FF | FALLA FUNCIONAL | MF | MODO DE FALLA | EFECTO DE FALLA |
| 1 | Realizar la compresión del aire que es enviado a mangueras de equipos de pintura neumática, sandblasting, bombeo, entre otros. Capacidad promedio 750 CFM, [ft3/min] | A | Fallo del motor Diesel | 1 | Baterías desgastadas, bornes contaminados | Bajo nivel de agua en una de las celdas, vida útil |
| | | | | 2 | Motor de arranque falla | Desgaste de los bujes y Bendix (Engrane del arranque con motor Diesel) |
| | | | | 3 | Sistema de inyección aireado | Baja cantidad de combustible. |
| | | | | 4 | Fallo en el sistema de transmisión de potencia | Inadecuada lubricación del sistema, valvulina |

Tabla 22. (Continuación)

| | | | | | | |
|--|----------|--|---|--|--|---|
| | | | | 5 | Fallo del sistema refrigerador | Radiador en mal estado o tapado al igual que los filtros de aceite |
| | | | | 6 | Bandas de transmisión fallan | La suciedad de las poleas y vida útil de la banda |
| | | | | 7 | Filtros de aire, aceite y combustibles tapados | Contaminación del aire, aceite y vida útil sobre limitada |
| | | | | 8 | Falla del sensor arroja niveles erróneos | Desgaste natural, marcando sobrecalentamiento, niveles incorrectos de insumos |
| | B | Incapacidad de compresión | 1 | Daño del Coupling del sistema compresor | El acoplamiento entre el motor y el tornillo compresor se desgasta debido al mal manejo, apagar el compresor con carga activada | |
| | | | 2 | Falla en la válvula volumétrica | No permite ingreso de aire del ambiente, inspeccionar también los solenoides | |
| | | | 3 | Falla del tornillo sin fin de la unidad compresora | Inadecuada lubricación del piñón | |
| | | | 4 | Taponamiento del filtro de aire de la unidad | Sobrelímite de vida útil generando ausencia de aire | |
| | | | 5 | Falla en el sistema de refrigeración del sistema | El bajo nivel de aceite hidráulico ocasiona sobrecalentamiento del sistema y daños en otros sistemas se recomienda revisión diaria | |
| | | | 6 | Falla del sensor arroja niveles erróneos | Desgaste natural, marcando sobrecalentamiento, niveles incorrectos de insumos | |
| | C | Presión de salida del aire baja | 1 | Daño en el sistema de transporte de fluido | Fugas de aire en tuberías y/o en el tanque de almacenamiento del sistema compresor | |
| | | | 2 | Falla en la válvula reguladora de presión | La falta de calibración, eleva presión del sistema o no mantiene la presión | |
| | | | 3 | Falla en la válvula puesta en carga del sistema | La falta de calibración, No permite la salida y control del aire del sistema | |

Tabla 23. Análisis FMEA para el Equipo de Pintura Neumático.


|  | | DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO HOJA DE INFORMACIÓN RCM II | | Versión | 1 | |
|---|---|---|---|--------------------|--|---|
| NIT 900.151.062-9 | | GR-F-10 | | Página | 1 | |
| EQUIPO | | Equipo de pintura neumático | | FACILITADOR | Jairo Acosta, Leydi Barrera | |
| CÓDIGO | | MAG-EPN-01 | | AUDITOR | Jhonatan Martínez | |
| F | FUNCIÓN | F | FALLA FUNCIONAL | M | MODO DE FALLA | EFECTO DE FALLA |
| 1 | Aplicación de pintura en la superficie metálica, mediante activación neumática. Relación 60:1 | A | Motor neumático no funciona | 1 | Daño de empaquetaduras internas Oring | Grietas y roturas por degradación térmica, química y abrasión debido a su ciclo de vida |
| | | | | 2 | Elementos internos y cilindro desgastados | El efecto de rozamiento del cilindro con el aire húmedo corroe paredes y los elementos internos del motor |
| | | B | Falla en el control de los ciclos del motor neumático | 1 | Falla del control por medio de la válvula direccional del aire | Descalibración de válvulas direccionales, encargadas de direccionar el flujo según función |

Tabla 23. (Continuación)

| | | | | | | |
|---|--|---|--|---|--|---|
| | | C | Incapacidad de succión y bombeo de pintura | 1 | Falla en empaquetaduras de la bomba | Grietas y roturas por degradación térmica, química y abrasión debido a su ciclo de vida |
| | | | | 2 | Falla en la válvula de cheque en la línea de succión | Suciedad en el balín en la válvula de cheque en la bomba |
| | | | | 3 | Baja presión de aire de activación | Daño o descalibración en la válvula reguladora de presión, que controla la presión para succionar la pintura |
| 2 | Dosificado de pintura, componentes en los equipos plural | A | Bomba de dosificación falla | 1 | Falla de alguna de las empaquetadura de la bomba | El efecto de abrasión en alguna de las dos empaquetaduras en asbesto y teflón las desgastan, aumentando el error en las cantidades a dosificar |
| | | B | Daño en la electroválvula de control de aire | 1 | Pérdida de la pintura contenida en el equipo por falta de suministro de aire | El desgaste natural por abrasión de la válvula, imposibilita el correcto descargue de la pintura hacia las mangueras para su aplicación, obstruyendo las ductos por secado de la pintura. |
| | | | | 2 | Solenoides son ruidosos y la válvula no se posiciona | Ineficiente suministro de flujo de aire imposibilita la salida de la pintura |
| | | | | | | |

7.2 HOJA DE DECISIONES A PARTIR DEL ANÁLISIS RCM II

Analizar las consecuencias de cada modo de falla es el paso siguiente de la metodología RCM, dependiendo de la gravedad, se justifica la necesidad de realizar una tarea de mantenimiento proactivo. Según Jhon Moubray para realizar este análisis es necesario comparar los modos de fallas con las fallas recomendadas en el diagrama de decisiones (Ver Figura 14, Pág. 50), proporcionando resultados acertados para mitigar cada modo de falla y asignar el tipo de tarea para reducir dichas consecuencias e impacto.

Tabla 24. Hoja de decisiones Equipo de granallado 3630 HV.


| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|--|---------------------------------|---|---|---|----------------|-------------------|----|-------------------|---|-----------------|-------------------|----------------|
|  | | DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO HOJA DE DECISIONES RCM II | | | | | VERSIÓN | 1 | | | | | | |
| NIT 900.151.062-9 | | GR-F-10 | | | | | PÁGINA | 1 | | | | | | |
| EQUIPO | | Equipo de granallado 3630 HV | | | | | FECHA CREACIÓN | 10/08/2014 | | | | | | |
| CÓDIGO | | MAG-GR-01 | | | | | FACILITADOR | Jairo Acosta | | | | | | |
| | | | | | | | AUDITOR | Jhonatan Martínez | | | | | | |
| Referencia de información | | | Evaluación de las consecuencias | | | | H1 | H2 | H3 | Acción a falta de | | Tarea propuesta | Intervalo Inicial | A realizar por |
| F | FF | MF | H | S | E | O | S1 | S2 | S3 | H | S | | | |
| | | | | | | | E1 | E2 | E3 | 4 | 5 | | | |

Tabla 24. (Continuación)

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|-------------|-------------------|
| 1 | A | 1 | S | N | N | S | N | | | | | | | Lubricación de bujes | Quincenal | Técnico mecánico |
| 1 | A | 2 | S | N | N | S | | | | | | | | No hay mantenimiento programado | | |
| 1 | A | 3 | S | N | N | S | | | | | | | | Lubricación de rodamientos | Quincenal | Técnico mecánico |
| 1 | A | 4 | S | N | N | S | | | | | | | | Lubricación con valvulina adecuada y engrase | Semanal | Técnico mecánico |
| 1 | A | 5 | S | N | N | | | | | | | | | Rectificación de conexiones | Semanal | Técnico Eléctrico |
| 1 | B | 1 | S | N | N | | | | | | | | | Lubricación de bujes | Quincenal | Técnico mecánico |
| 1 | B | 2 | S | N | N | | | | | | | | | Cambiar sistema de transmisión de potencia | 2 años | Técnico mecánico |
| 1 | B | 3 | S | N | N | | | | | | | | | Lubricación con grasa | Mensual | Técnico mecánico |
| 1 | B | 4 | S | N | N | | | | | | | | | Lubricación de bujes | Quincenal | Técnico mecánico |
| 1 | B | 5 | S | N | N | | | | | | | | | Reemplazar baterías | Mensual | Técnico mecánico |
| 1 | C | 1 | S | N | N | | | | | | | | | Inspección de cantidad de granalla | Diariamente | Técnico mecánico |
| 1 | C | 2 | N | | | | | | | | | | | Revisión, limpieza y soldadura de álabes | Semestral | Técnico mecánico |
| 1 | C | 3 | S | N | N | | | | | | | | | Lubricación de bujes | Quincenal | Técnico mecánico |
| 1 | C | 4 | S | N | N | | | | | | | | | Inspección de cantidad de granalla | Diariamente | Técnico mecánico |
| 1 | D | 1 | S | N | N | | | | | | | | | Inspección de sistema de alimentación eléctrico | Semanal | Técnico mecánico |
| 1 | D | 2 | N | | | | | | | | | | | Cambio de granalla | Diariamente | Técnico mecánico |
| 1 | D | 3 | S | N | N | | | | | | | | | Cambio de filtros e inspección de posibles escapes | Mensual | Técnico mecánico |
| 1 | E | 1 | S | N | N | | | | | | | | | Inspección del sistema | Mensual | Técnico mecánico |
| 1 | E | 2 | S | N | N | | | | | | | | | Lubricación de bujes | Mensual | Técnico mecánico |
| 1 | E | 3 | S | N | N | | | | | | | | | Cambio de filtros | Mensual | Técnico mecánico |
| 1 | E | 4 | N | | | | | | | | | | | Revisión, limpieza y soldadura de álabes | Semestral | Técnico mecánico |
| 1 | F | 1 | S | N | N | | | | | | | | | Inspección de conexiones eléctricas | Semestral | Técnico Eléctrico |
| 1 | F | 2 | N | | | | | | | | | | | Lubricación de bujes | Quincenal | Técnico mecánico |
| 1 | F | 3 | N | | | | | | | | | | | Revisión de bobina y lubricación de bujes | Semestral | Técnico Eléctrico |
| 1 | G | 1 | S | N | N | | | | | | | | | Reemplazar baterías | Mensual | Técnico mecánico |
| 1 | G | 2 | N | | | | | | | | | | | Revisión y reparación de botonera | Semestral | Técnico Eléctrico |
| 1 | G | 3 | S | N | N | | | | | | | | | Reemplazar baterías | Mensual | Técnico mecánico |

Tabla 25. Hoja de decisiones Equipo VACCUM.

|  | | DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO HOJA DE DECISIONES RCM II | | | | | | VERSIÓN | | | 1 | | | |
|---|----|--|---|---|---|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|--|--------------|--|-------------------|--------------------------------------|
| NIT 900.151.062-9 | | GR-F-10 | | | | | | PÁGINA | | | 1 | | | |
| EQUIPO | | VACCUM (Limpiador y aspirador de granalla) | | | | | | FECHA CREACIÓN | | | 10/08/2014 | | | |
| CÓDIGO | | MAG-VA-01 | | | | | | FACILITADOR | | | Jairo Acosta | | | |
| Referencia de información | | Evaluación de las consecuencias | | | | H1 S1 E1 O1 | H2 S2 E2 O2 | H3 S3 E3 O3 | Acción a falta de | | | Tarea propuesta | Intervalo Inicial | A realizar por |
| F | FF | MF | H | S | E | O | H 4 | H 5 | S 4 | | | | | |
| 1 | A | 1 | S | N | N | S | N | | | | | Control del estado de bornes, nivel de ácidos y agua | Quincenal | Técnico mecánico |
| 1 | A | 2 | S | N | N | S | | | | | | Lubricación de bujes | Mensual | Técnico mecánico |
| 1 | A | 3 | S | N | N | S | | | | | | Revisión de niveles de combustible | Diariamente | Técnico mecánico |
| 1 | A | 4 | S | N | N | | | | | | | Cambiar sistema de transmisión de potencia | 2 años | Técnico mecánico |
| 1 | A | 5 | N | | | | | | | | | Revisión del radiador | Semestral | Técnico mecánico |
| 1 | A | 6 | S | N | N | | | | | | | Limpieza de poleas y cambio de bandas | Anual | Técnico mecánico |
| 1 | B | 1 | S | N | N | | | | | | | Cambio de empaquetaduras | Semestral | Técnico mecánico |
| 1 | B | 2 | S | N | N | | | | | | | Inspección de tuberías | Semestral | Técnico mecánico |
| 1 | B | 3 | S | N | N | | | | | | | Inspección de acoples de accesorios | Semestral | Técnico mecánico |
| 1 | B | 4 | S | N | N | | | | | | | Cambio de filtro separador | Quincenal | Técnico mecánico |
| 1 | B | 5 | S | N | N | | | | | | | Cambio de filtros de aire | Quincenal | Técnico mecánico |
| 1 | C | 1 | S | N | N | | | | | | | Calibración de válvulas | 3 Meses | Contratista de calibración y control |
| 1 | C | 2 | N | | | | | | | | | Revisión y cambio del sensor gobernador | Semestral | Técnico eléctrico |
| 1 | D | 1 | S | N | N | | | | | | | Cambio de retenedores | Semestral | Técnico mecánico |
| 1 | D | 2 | S | N | N | | | | | | | Inspección y cambio de mangueras hidráulicas | Semestral | Técnico mecánico |
| 1 | D | 3 | N | | | | | | | | | Cambio de aceite hidráulico | Mensual | Técnico mecánico |

Tabla 26. Hoja de decisiones Equipo Planta Eléctrica.


|  DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO HOJA DE DECISIONES RCM II | | | | | | | | | | VERSIÓN | | | 1 | | |
|--|----|----|---------------------------------|---|--------------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|--------|--|--|-------------------|-------------------|
| | | | | | | | | | | PÁGINA | | | 1 | | |
| NIT 900.151.062-9 | | | | | GR-F-10 | | | | | FECHA CREACIÓN | | | 10/08/2014 | | |
| EQUIPO | | | | | Planta eléctrica 220 KVA | | | | | FACILITADOR | | | Jairo Acosta | | |
| CÓDIGO | | | | | MAG-PE-01 | | | | | AUDITOR | | | Jhonatan Martínez | | |
| Referencia de información | | | Evaluación de las consecuencias | | | | H1 S1 E1 O1 | H2 S2 E2 O2 | H3 S3 E3 O3 | Acción a falta de | | | Tarea propuesta | Intervalo Inicial | A realizar por |
| F | FF | MF | H | S | E | O | | | H 4 | H 5 | S 4 | | | | |
| 1 | A | 1 | S | N | N | S | N | | | | | | Control del estado de bornes, nivel de ácidos y agua | Quincenal | Técnico mecánico |
| 1 | A | 2 | S | N | N | S | | | | | | | Lubricación de bujes | Mensual | Técnico mecánico |
| 1 | A | 3 | S | N | N | S | | | | | | | Revisión de niveles de combustible | Diariamente | Técnico mecánico |
| 1 | A | 4 | S | N | N | | | | | | | | Cambiar sistema de transmisión de potencia | 2 años | Técnico mecánico |
| 1 | A | 5 | N | | | | | | | | | | Revisión del radiador | Semestral | Técnico mecánico |
| 1 | A | 6 | S | N | N | | | | | | | | Limpieza de poleas y cambio de bandas | Anual | Técnico mecánico |
| 1 | A | 7 | S | N | N | | | | | | | | Cambio de filtros en general | Trimestral | Técnico mecánico |
| 1 | A | 8 | S | N | N | | | | | | | | Revisión de sensores | Semestral | Técnico eléctrico |
| 1 | B | 1 | S | N | N | | | | | | | | Revisión del acople del inductor | Trimestral | Técnico mecánico |
| 1 | B | 2 | S | N | N | | | | | | | | Lubricación de rodamientos | Mensual | Técnico mecánico |
| 1 | B | 3 | N | | | | | | | | | | Revisión de alineación | Semestral | Técnico mecánico |
| 1 | C | 1 | S | N | N | | | | | | | | Revisión y cambio de escobillas | Trimestral | Técnico eléctrico |
| 1 | C | 2 | S | N | N | | | | | | | | Revisión y cambio de diodos | Trimestral | Técnico eléctrico |
| 1 | C | 3 | S | N | N | | | | | | | | Revisión y cambio de breques | Semestral | Técnico eléctrico |

Tabla 27. Hoja de decisiones Equipo Compresor.


|  DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO HOJA DE DECISIONES RCM II | | | | | | | | | | VERSIÓN | | | 1 | | |
|--|----|----|---------------------------------|---|------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|--------|--|--|-------------------|------------------|
| | | | | | | | | | | PÁGINA | | | 1 | | |
| NIT 900.151.062-9 | | | | | GR-F-10 | | | | | FECHA CREACIÓN | | | 10/08/2014 | | |
| EQUIPO | | | | | Equipo compresor | | | | | FACILITADOR | | | Jairo Acosta | | |
| CÓDIGO | | | | | MAG-CP-07 | | | | | AUDITOR | | | Jhonatan Martínez | | |
| Referencia de información | | | Evaluación de las consecuencias | | | | H1 S1 E1 O1 | H2 S2 E2 O2 | H3 S3 E3 O3 | Acción a falta de | | | Tarea propuesta | Intervalo Inicial | A realizar por |
| F | FF | MF | H | S | E | O | | | H 4 | H 5 | S 4 | | | | |
| 1 | A | 1 | S | N | N | S | N | | | | | | Control del estado de bornes, nivel de ácidos y agua | Quincenal | Técnico mecánico |
| 1 | A | 2 | S | N | N | S | | | | | | | Lubricación de bujes | Mensual | Técnico mecánico |

Tabla 27. (Continuación)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|---|-------------|--------------------------------------|
| 1 | A | 3 | S | N | N | S | | | | | | | | | Revisión de niveles de combustible | Diariamente | Técnico mecánico |
| 1 | A | 4 | S | N | N | | | | | | | | | | Cambiar sistema de transmisión de potencia | 2 años | Técnico mecánico |
| 1 | A | 5 | N | | | | | | | | | | | | Revisión del radiador | Semestral | Técnico mecánico |
| 1 | A | 6 | S | N | N | | | | | | | | | | Limpieza de poleas y cambio de bandas | Anual | Técnico mecánico |
| 1 | A | 7 | S | N | N | | | | | | | | | | Cambio de filtros en general | Trimestral | Técnico mecánico |
| 1 | A | 8 | S | N | N | | | | | | | | | | Revisión de sensores | Semestral | Técnico eléctrico |
| 1 | B | 1 | S | N | N | | | | | | | | | | Revisión del Coupling | Semestral | Técnico mecánico |
| 1 | B | 2 | S | N | N | | | | | | | | | | Calibración de válvula | Trimestral | Contratista de calibración y control |
| 1 | B | 3 | S | N | N | | | | | | | | | | Lubricación del piñón | Semestral | Técnico mecánico |
| 1 | B | 4 | S | N | N | | | | | | | | | | Cambio del filtro de aire | Semestral | Técnico mecánico |
| 1 | B | 5 | N | | | | | | | | | | | | Inspección del nivel del aceite hidráulico | Diariamente | Técnico mecánico |
| 1 | B | 6 | S | N | N | | | | | | | | | | Revisión de sensores | Semestral | Técnico eléctrico |
| 1 | C | 1 | S | N | N | | | | | | | | | | Revisión del sistema de transporte del aire | Semestral | Técnico mecánico |
| 1 | C | 2 | S | N | N | | | | | | | | | | Calibración de válvula | Trimestral | Contratista de calibración y control |
| 1 | C | 3 | S | N | N | | | | | | | | | | Calibración de válvula | Trimestral | Contratista de calibración y control |

Tabla 28. Hoja de decisiones Equipo de Pintura Neumático.


|  | | DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO HOJA DE DECISIONES RCM II | | | | | | | | | | VERSIÓN | | 1 | | |
|---|----|--|---------------------------------|---|---|---|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|----|----------------|-----------------|------------------------------------|----------------|--------------------------------------|
| | | | | | | | | | | | | PÁGINA | | 1 | | |
| NIT 900.151.062-9 | | GR-F-10 | | | | | | | | | | FECHA CREACIÓN | | 10/08/2014 | | |
| EQUIPO | | Equipo de pintura neumático | | | | | | | | | | FACILITADOR | | Jairo Acosta | | |
| CÓDIGO | | MAG-EPN-01 | | | | | | | | | | AUDITOR | | Jhonatan Martínez | | |
| Referencia de información | | | Evaluación de las consecuencias | | | | H1 S1 E1 O1 | H2 S2 E2 O2 | H3 S3 E3 O3 | Acción a falta de | | | Tarea propuesta | Intervalo Inicial | A realizar por | |
| | | | | | | | | | | H4 | H5 | S4 | | | | |
| F | FF | MF | H | S | E | O | | | | | | | | | | |
| 1 | A | 1 | S | N | N | S | N | | | | | | | Revisión y cambio de Oring | Semestral | Técnico mecánico |
| 1 | A | 2 | S | N | N | S | | | | | | | | Revisión y rectificación del motor | Semestral | Técnico mecánico |
| 1 | B | 1 | N | | | | | | | | | | | Revisión y calibración de válvula | Semestral | Contratista de calibración y control |

Tabla 28. (Continuación)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|---|------------|--------------------------------------|
| 1 | B | 2 | S | N | N | | | | | | | Revisión y limpieza de ductos | Quincenal | Técnico mecánico |
| 1 | C | 1 | S | N | N | | | | | | | Revisión y cambio de empaquetaduras | Trimestral | Técnico mecánico |
| 1 | C | 2 | S | N | N | | | | | | | Revisión de válvula de cheque, limpieza | Trimestral | Técnico mecánico |
| 1 | C | 3 | S | N | N | | | | | | | Revisión y calibración de válvula | Semestral | Contratista de calibración y control |
| 2 | A | 1 | S | N | N | | | | | | | Revisión y cambio de empaquetaduras | Trimestral | Técnico mecánico |
| 2 | B | 1 | S | N | N | | | | | | | Inspección de electroválvula y retirar la pintura de forma rápida en caso de emergencia | Semanal | Técnico mecánico |
| 2 | B | 2 | S | N | N | | | | | | | Revisión de solenoides | Mensual | Técnico eléctrico |

7.3 RUTINAS DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS

Son un conjunto de acciones realizadas a fin de alargar la vida útil de los equipos, garantizar la eficiencia de los equipos y brindar condiciones seguras a los operarios, para cada uno de los equipos de la empresa se hizo el levantamiento de la información a partir de los manuales y la asesoría del personal.

Tabla 29. Rutina de mantenimiento para los compresores.


| | | | | |
|---|--|--|-------------------------|--------------------------|
|  | RUTINAS DE MANTENIMIENTO COMPRESORES | | VERSIÓN | 1 |
| | | | PÁGINA | 1 de 1 |
| NIT 900.151.062-9 | GR-F-10 | | FECHA CREACIÓN | 28-jul-14 |
| INFORMACIÓN DEL EQUIPO | | | | |
| NOMBRE | Compresor | | MARCA | Atlas Copco |
| CÓDIGO | MAG ING-CP | | FECHA APLICACIÓN | 01/08/2014 |
| MODELO | XAS 756 | | ELABORO | Jairo Acosta |
| RUTINAS DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO | | | | |
| ITEM | MANTENIMIENTO | | | INTERVALOS DE MTO |
| 1 | Chequear el nivel de aceite del compresor | | | DIARIO |
| 2 | Chequear el nivel de aceite del motor | | | DIARIO |
| 3 | Limpiar trampas de polvo de los filtros de aire | | | DIARIO |
| 4 | Chequear indicador de servicio de los filtros de aire | | | DIARIO |
| 5 | Drenar e agua o sedimentos de los filtros de combustible | | | DIARIO |
| 6 | Chequear presión de salida del aire | | | DIARIO |
| 7 | Chequear temperatura de salida del elemento compresor (Entre 60°C y 70°C sobre ambiente) | | | DIARIO |
| 8 | Limpiar Unidad externamente | | | SEMANAL |
| 9 | Chequear nivel de electrolito y terminales de batería | | | SEMANAL |
| 10 | Chequear presión de llantas | | | SEMANAL |
| 11 | Inspeccionar fugas de combustible o aceite | | | SEMANAL |

Tabla 29. (Continuación)

| | | |
|--|--|-----------------|
| 12 | Lubricar Juntas rótula y pivotes de solenoide de parada y regulador de velocidad | SEMANAL |
| 13 | Limpiar filtros de aire | MENSUAL |
| 14 | Limpiar radiadores | MENSUAL |
| 15 | Chequear válvula de seguridad | MENSUAL |
| 16 | Chequear apriete de pernos de las ruedas | MENSUAL |
| 17 | Chequear sistema de frenado | MENSUAL |
| 18 | Lubricar bisagras de carrocería | MENSUAL |
| 19 | Engrasas conjunto de arrastre | MENSUAL |
| 20 | Limpiar aletas de refrigeración de culatas del motor | MENSUAL |
| 21 | Cambiar filtro primario de combustible | 250 horas Oper |
| 22 | Cambios filtro secundario de combustible | 250 horas Oper |
| 23 | Cambiar filtro de aceite del motor | 250 horas Oper |
| 24 | Cambiar aceite del motor | 250 horas Oper |
| 25 | Drenar agua y sedimentos al tanque de combustible | 400 horas Oper |
| 26 | Cargar baterías (Si es necesario) | 400 horas Oper |
| 27 | Chequear operación de válvula de seguridad | 500 horas Oper |
| 28 | Cambiar filtro de aire del compresor | 500 horas Oper |
| 29 | Cambiar filtro de aire del motor | 500 horas Oper |
| 30 | Cambiar kit elemento separador de aceite | 1000 horas Oper |
| 31 | Cambiar aceite hidráulico mineral en la unidad compresora | 1000 horas Oper |
| OBSERVACIONES Intervalos de limpieza y cuidados deben reducirse si se operan en una atmósfera polvorienta. | | |
| Para las rutinas diarias del motor como medición del nivel de aceite, rellenado de aceite, verificación de juegos de válvulas, etc, si es necesario remitirse al libro de instrucciones. | | |
| Aceites para el motor de acuerdo a clasificación API CC o CD para servicio diesel pesado. | | |

Estas tareas se consignan en el formato junto con la frecuencia de aplicación. Donde podremos encontrar diarias, semanales, mensuales, trimestrales, semestrales y anuales para cada uno de los componentes de cada equipo. Esta implementación requiere del compromiso por parte de los operarios, para lograr un excelente desempeño del plan de mantenimiento. A continuación se muestran las rutinas de mantenimiento para los demás equipos críticos:

Tabla 30. Rutina de mantenimiento para las plantas eléctricas Diesel.


| | | | |
|--|---|---------------------------|--------------|
|  NIT 900.151.062-9 | RUTINAS DE MANTENIMIENTO PLANTAS ELÉCTRICAS GR-F-10 | VERSIÓN | 1 |
| | | PÁGINA | 1 de 1 |
| | | FECHA CREACIÓN | 28-jul-14 |
| INFORMACIÓN DEL EQUIPO | | | |
| NOMBRE | Planta eléctrica | MARCA | Atlas Copco |
| CÓDIGO | MAG PE | FECHA APLICACIÓN | 01/08/2014 |
| MODELO | QAS220 | ELABORO | Jairo Acosta |
| RUTINAS DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO | | | |
| ITEM | MANTENIMIENTO | INTERVALOS DE MTTO | |
| 1 | Chequear el nivel de aceite del motor | Diario | |
| 2 | Chequear el nivel de combustible del motor | Diario | |
| 3 | Chequear indicador de servicio de los filtros de aire | Diario | |
| 4 | Drenar e agua o sedimentos de los filtros de combustible | Diario | |
| 5 | Limpiar trampas de polvo de los filtros de aire | Diario | |
| 6 | Cambio de filtro de aire | 200 Horas | |

Tabla 30. (Continuación)

| | | |
|--|---|------------|
| 7 | Cambio de filtro de aceite | 200 Horas |
| 8 | Cambio de filtro primario de combustible | 200 Horas |
| 9 | Cambio de filtro secundario de combustible | 200 Horas |
| 10 | Revisar nivel de baterías y porcentaje de ácido | 200 Horas |
| 11 | Dispositivos de inspección y limpieza: Se comprobará la accesibilidad a los orificios y registros de limpieza | 200 Horas |
| 12 | Revisar tensado de las correas de accesorios | 200 Horas |
| 13 | Cambio de aceite | 200 horas |
| 14 | Revisar tensado de las correas de accesorios | 200 Horas |
| 15 | Lavado general | 250 Horas |
| 16 | Limpieza del radiador | 250 horas |
| 17 | Para planta 156 KVA: Realizar cambio del filtro del líquido refrigerante | 500 horas |
| 18 | Cambio del líquido refrigerante | 1000 horas |
| 19 | Lavado de tanque de combustible | 1000 horas |
| OBSERVACIONES Intervalos de limpieza se deben ajustar dependiente del ambiente de operación | | |
| Revisar los manuales de operación referentes a las actividades del motor | | |
| Aceites para el motor de acuerdo a clasificación API | | |

Tabla 31. Rutina de mantenimiento para los equipos de granallado.


| | | | | |
|---|--|--|----------------|----------------------------|
|  | | RUTINAS DE MANTENIMIENTO PLANTAS ELÉCTRICAS | VERSIÓN | 1 |
| NIT 900.151.062-9 | | GR-F-10 | PÁGINA | 1 de 1 |
| | | | FECHA CREACIÓN | 28-jul-14 |
| INFORMACIÓN DEL EQUIPO | | | | |
| NOMBRE | Equipo de granallado 3630 HV | MARCA | WEG OMNEX | |
| CÓDIGO | MAG EGR | FECHA APLICACION | 01/08/2014 | |
| MODELO | POR ESTRUCTURA | ELABORO | Edwin Dávila | |
| RUTINAS DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO | | | | |
| ITEM | MANTENIMIENTO | | | INTERVALOS DE MTTTO |
| 1 | Chequear funcionamiento del control de mando, botones, interruptores, etc | | | Diario |
| 2 | Inspección de instalaciones eléctricas | | | Diario |
| 3 | Inspección de mangueras de vacío | | | Diario |
| 4 | Limpieza a los filtros del colector | | | 100 horas |
| 5 | Cambio de filtros del colector | | | 200 horas |
| 6 | Limpieza general E inspección de los 2 motores y 2 turbinas | | | 200 horas |
| 7 | Limpieza e inspección de álabes de la turbina | | | 200horas |
| 8 | Inspección de tolvas de dosificación de granalla | | | 200 horas |
| 9 | Mantenimiento de plato de la granalladora | | | 200horas |
| 10 | Lubricación de los rodamientos de los motores | | | 200horas |
| 11 | Lubricación de las ruedas y motores de desplazamiento | | | 200horas |
| 12 | Limpieza e inspección de las guayas del Winche | | | 200horas |
| 13 | Engrase de Winche | | | 200horas |
| 14 | Pintura general | | | 200horas |
| 15 | Aplicar soldadura a álabes y carcasa estructural debido a abrasividad de la granalla | | | 200horas |
| OBSERVACIONES | | Realizar los manuales de operación referentes a las actividades de los motores | | |

Tabla 32. Rutina de mantenimiento para el Vaccum.


| | | | | |
|---|---|--|----------------|-----------|
|  | | RUTINAS DE MANTENIMIENTO VACUUM | VERSIÓN | 1 |
| NIT 900.151.062-9 | | GR-F-10 | PÁGINA | 1 de 1 |
| | | | FECHA CREACIÓN | 28-jul-14 |
| INFORMACIÓN DEL EQUIPO | | | | |
| NOMBRE | VACCUM (Limpiador y recolector de granalla) | MARCA | VECTOR | |
| CÓDIGO | MAG VA 01 | FECHA APLICACIÓN | 01/08/2014 | |

Tabla 32. (Continuación)

| MODELO | 07019 SER 314 | ELABORO | Edwin Dávila |
|--|--|--------------------------|--------------|
| RUTINAS DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO | | | |
| ITEM | MANTENIMIENTO | INTERVALOS DE MTO | |
| 1 | verificar los acoples de las mangueras | Diariamente | |
| 2 | Medir valor de presión de las cuatro ruedas | Diariamente | |
| 3 | Drenar los depósitos de aire | Diariamente | |
| 4 | Revisar los niveles de aceite, combustible, aceite hidráulico, refrigerante | Diariamente | |
| 5 | Cambio de aceite del motor | 200 horas | |
| 6 | Cambio de filtros de colector de polvos | 200 horas | |
| 7 | Cambio de filtro de aceite del motor | 200 horas | |
| 8 | Cambio de filtros de combustible | 200 horas | |
| 9 | Verificar el tensado de la correa de los accesorios | 200 horas | |
| 10 | Lavado del radiador | 200 horas | |
| 11 | Cambio de filtros de aire | 400 horas | |
| 12 | Cambio de aceite hidráulico | 1000 horas | |
| 13 | cambio de líquido refrigerante | 1000 horas | |
| 14 | Lavado del tanque de combustible | 1000 horas | |
| OBSERVACIONES | Realizar los manuales de operación referentes a las actividades de los motores | | |

Tabla 33. Rutina de mantenimiento para el Equipo de Pintura Neumático.

|  NIT 900.151.062-9 | RUTINAS DE MANTENIMIENTO EQUIPO DE PINTURA NEUMÁTICO | | VERSIÓN | 1 |
|--|--|------------------------------------|-----------------------|--------|
| | GR-F-10 | | PÁGINA | 1 de 1 |
| | | | FECHA CREACIÓN | jul-14 |
| INFORMACIÓN DEL EQUIPO | | | | |
| NOMBRE | Equipo de pintura neumático | MARCA | XTREM GRACO | |
| CÓDIGO | MAG EPN 01 | FECHA APLICACIÓN | 01/08/2014 | |
| MODELO | SPRAYER 70:1 | ELABORO | Edwin Dávila | |
| RUTINAS DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO | | | | |
| ITEM | MANTENIMIENTO | INTERVALOS DE MANTENIMIENTO | | |
| 1 | Verificar nivel del lubricador del motor | Diariamente | | |
| 2 | Drenar agua del secador | Diariamente | | |
| 3 | Cambio de empaquetaduras de motor neumático | 250 horas | | |
| 4 | Pintura y limpieza general | 250 horas | | |
| 5 | Limpieza de bombas de succión | 250 horas | | |
| 6 | Cambio de empaquetaduras de bombas de succión | 250 horas | | |
| 7 | Revisión de líneas de dosificación | 250 horas | | |
| 8 | Limpieza de líneas de dosificación de producto | 250 horas | | |
| 9 | Prueba funcional al tablero de control de mezclado | 250 horas | | |
| 10 | Verificar integridad de los recipientes de componentes | 250 horas | | |
| 11 | Verificación de las ruedas de la estructura | 250 horas | | |
| 12 | Verificar estado de accesorios como líneas, acoples, pistola | 250 horas | | |
| OBSERVACIONES | Diseño de los tanques de almacenamiento según requerimientos básicos de operación, ver manual | | | |
| | Revisar manual de operación del equipo para mayor información acerca del proceso de dosificación | | | |

7.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CONFIABILIDAD WEIBULL

En vista de que el plan de mantenimiento preventivo RCM es basado en confiabilidad y con el objetivo de implementar herramientas estadísticas que

otorguen mayor trazabilidad de causa raíz y cantidad de equipos afectados, se ha ejecutado un análisis estadístico de confiabilidad Weibull de manera paralela al análisis FMEA y RCM II.

Como se mencionó anteriormente, este método proporciona predicciones de análisis de fallas con muestras muy pequeñas, y representa gráficamente la tendencia de la probabilidad y confiabilidad de los equipos, por medio del parámetro de forma β podemos relacionar este valor con la tasa de riesgo de falla según la curva de la bañera y mencionar algunas posibles causas.

Este análisis se realizó para la línea de compresores y equipos de pintura neumáticos de MAG INGENIEROS LTDA, el cual consta de 26 unidades compresoras y 20 equipos de pintura neumático, durante aproximadamente cuatro (4) meses se creó un historial de fallos y se organizó de la siguiente manera:

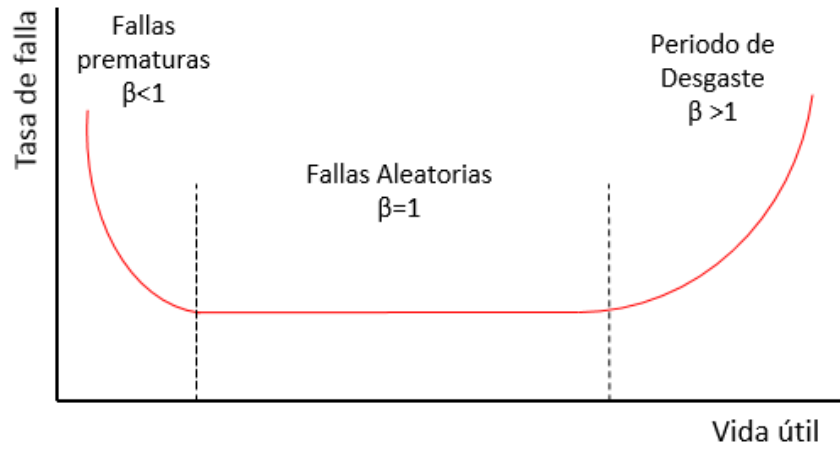
Nota: Los equipos compresores al igual que los de pintura trabajan seis (6) días a la semana, en turnos de siete (7) horas diarias durante todo el mes.

Tabla 34. Historial de eventos de falla para la línea de compresores.

| Horas de operación antes de la falla | Equipo que falló |
|--------------------------------------|---------------------|
| 377 | Compresor MAG CP 08 |
| 421 | Compresor MAG CP 02 |
| 589 | Compresor MAG CP 03 |
| 669 | Compresor MAG CP 09 |
| 740 | Compresor MAG CP 05 |

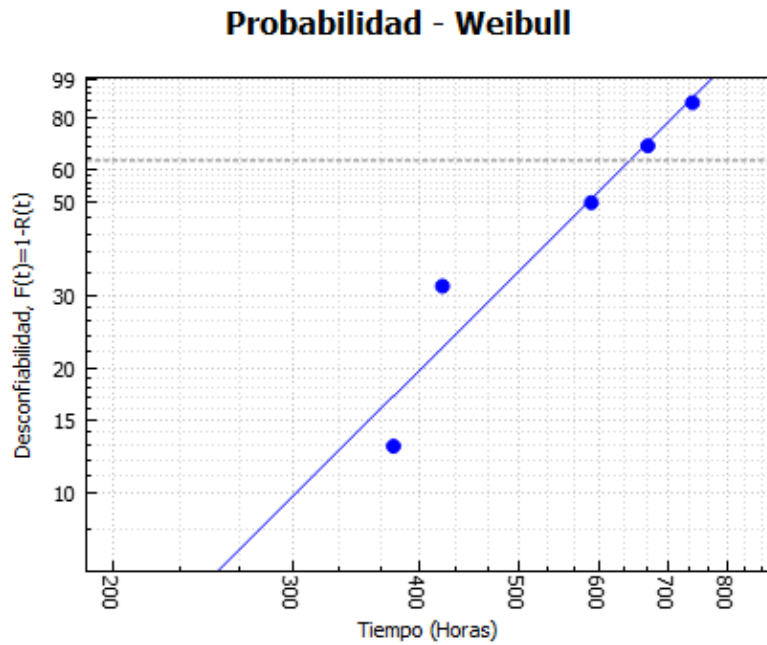
Esta información se ingresa al módulo de Desempeño del MTTO en la opción Weibull, se debe digitar el historial, población a analizar y las horas a futuro en que desea predecir los fallos del grupo.

Figura 22. Relación del parámetro de forma con la tasa de riesgo.



Finalmente, para obtener una tendencia de confiabilidad y probabilidad de fallo en función del tiempo se ha usado el software WeibullEIM del grupo de Investigación DICBot de la Escuela de Ingeniería Mecánica con el fin de graficar estas tendencias y realizar un análisis de resultados.

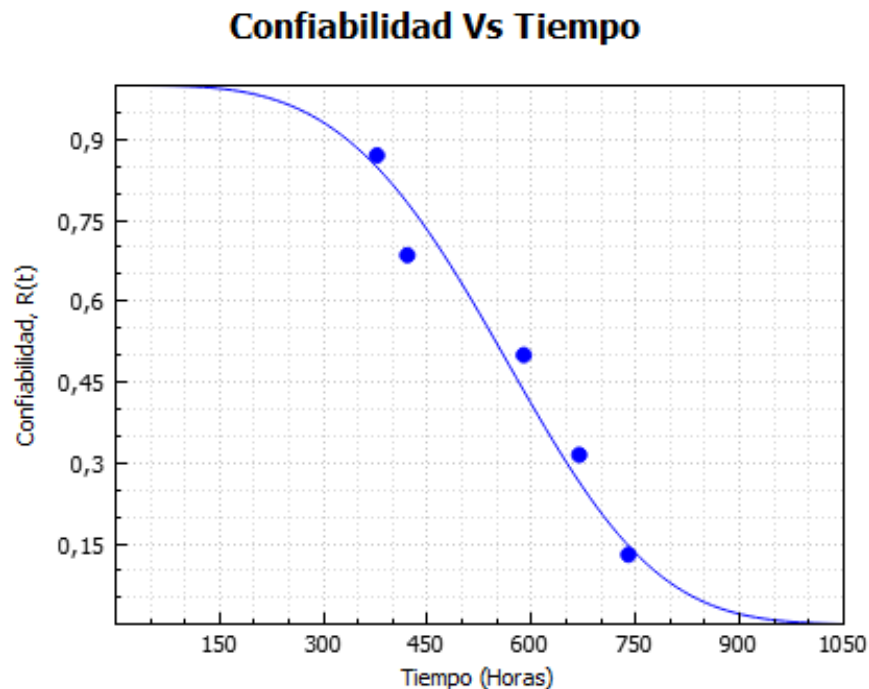
Figura 23. Gráfico de Probabilidad Weibull CP.



Fuente: WeibullEIM

En este gráfico se representan gráficamente cada uno de los fallos presentados en el grupo de equipos con puntos azules, en la parte superior se representa la confiabilidad del sistema 61,85% con una línea horizontal punteada, en el eje vertical se presenta la escala de los valores de confiabilidad y en el eje horizontal la escala del tiempo en horas de funcionamiento del sistema.

Figura 24. Gráfico confiabilidad vs tiempo CP.

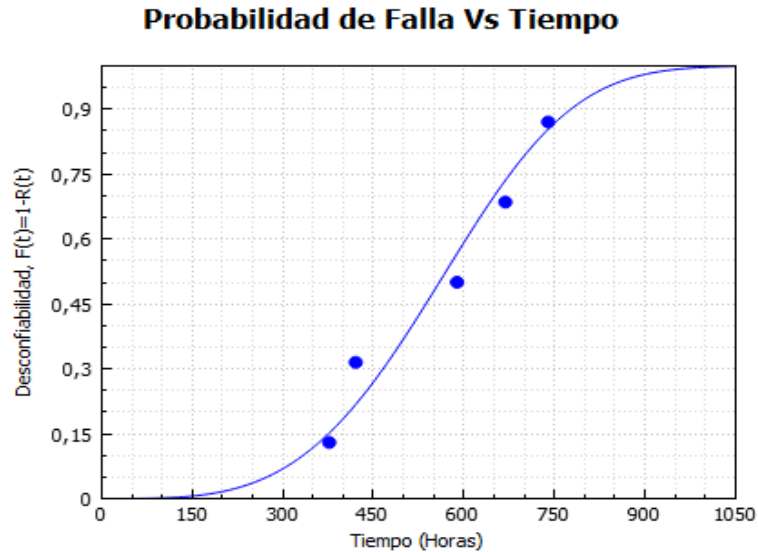


Fuente: WeibullEIM

En este gráfico se representa la tendencia de la confiabilidad del sistema en el tiempo, es evidente el descenso de ésta ya que según la integridad de los equipos y el análisis estadístico del historial de fallos el sistema se encuentra en la fase de desgaste $\beta > 1$ y es normal este tipo de comportamiento.

La probabilidad de fallo del sistema por tal motivo aumenta al paso del tiempo, de acuerdo al análisis del historial de fallas, por tal motivo para los próximos tres meses de operación se esperan que fallen diez equipos compresores.

Figura 25. Gráfico probabilidad de falla vs tiempo CP.



Fuente: WeibulleIM

En conclusión, un análisis estadístico Weibull al grupo de Compresores, con ayuda del análisis FMEA y el valor del parámetro β generan con gran exactitud el valor de confiabilidad de 61,85%, probabilidad de fallo de 38,15%, posibles causas de falla a futuro y la ubicación de los equipos al final de la curva de la bañera en una tasa de riesgo creciente para los próximos tres meses, observando que la confiabilidad del grupo va en caída y la probabilidad de fallo seguirá en aumento.

De igual manera se realiza en análisis para el grupo de Equipos de pintura Neumático de la empresa, que está dentro de los equipos críticos del proceso.

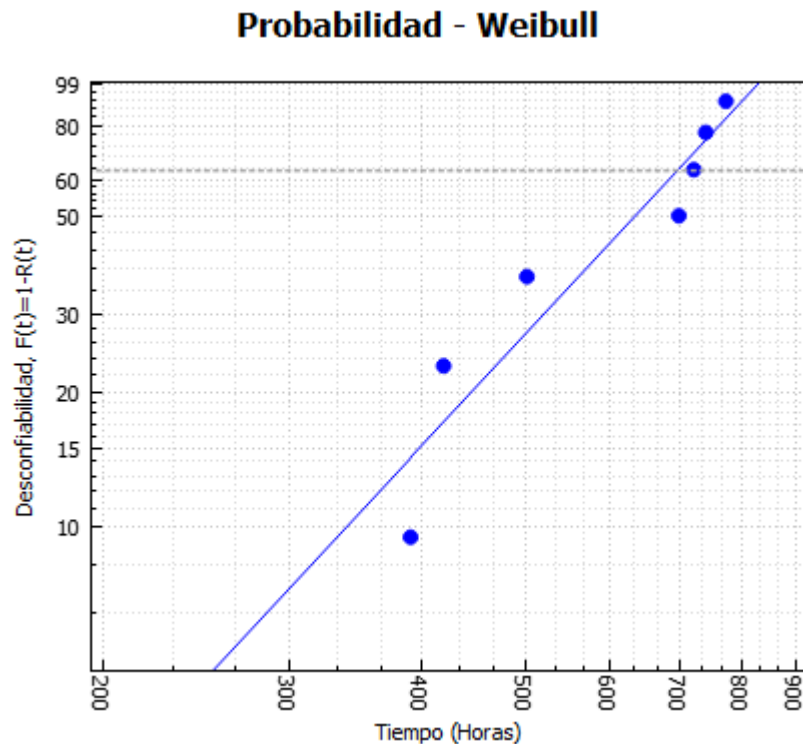
Tabla 36. Historial de eventos de falla para los Equipos de Pintura Neumático.

| Horas de operación antes de la falla | Equipo que falló |
|--------------------------------------|-------------------|
| 390 | Equipo MAG EPN 01 |
| 419 | Equipo MAG EPN 11 |
| 502 | Equipo MAG EPN 03 |
| 698 | Equipo MAG EPN 08 |
| 721 | Equipo MAG EPN 02 |
| 740 | Equipo MAG EPN 03 |
| 773 | Equipo MAG EPN 07 |

Sin embargo para obtener una mayor exactitud de los modos de fallo se aconseja revisar la hoja de vida de cada equipo y compararlo con la hoja informativa RCM II también llamada Hoja FMEA.

Para obtener una tendencia de confiabilidad y probabilidad de fallo en función del tiempo se usa el software WeibullEIM del grupo de Investigación DICBot de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

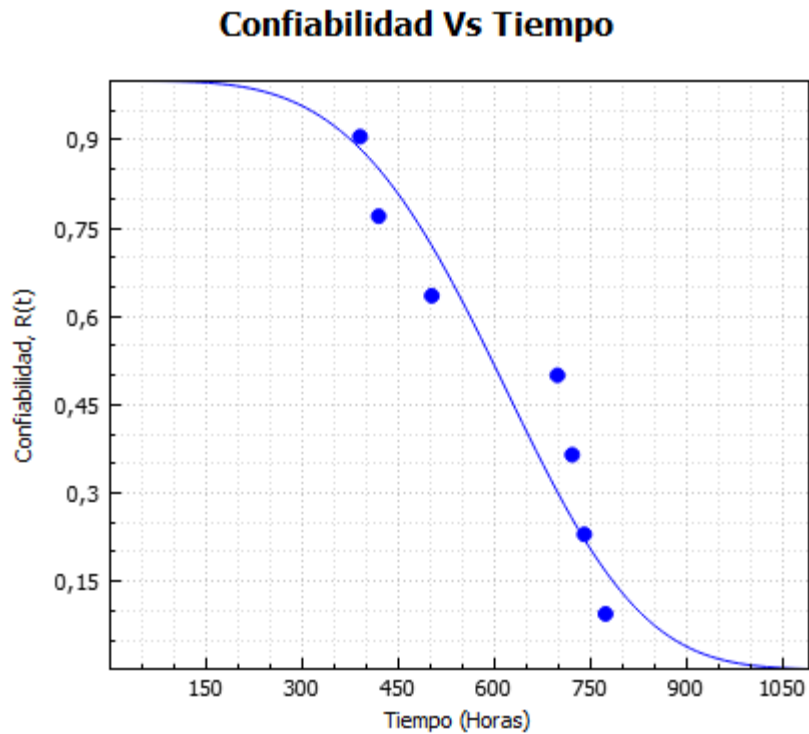
Figura 27. Gráfico de Probabilidad Weibull EPN.



Fuente: WeibullEIM

En este gráfico se representan gráficamente cada uno de los fallos presentados en el grupo de equipos con puntos azules, en la parte superior se representa la confiabilidad del sistema 70,01% con una línea horizontal punteada, en el eje vertical se presenta la escala de los valores de confiabilidad y en el eje horizontal la escala del tiempo en horas de funcionamiento del sistema.

Figura 28. Gráfico confiabilidad vs tiempo EPN.

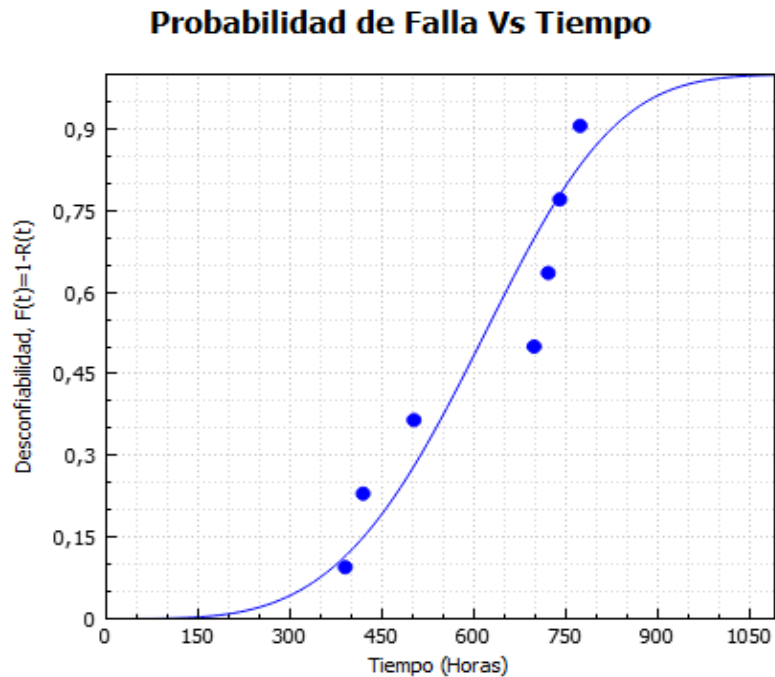


Fuente: WeibullEIM

En este gráfico se representa la tendencia de la confiabilidad del sistema en el tiempo, es evidente el descenso de ésta ya que según la integridad de los equipos y el análisis estadístico del historial de fallos el sistema se encuentra en la fase de desgaste $\beta > 1$ y es normal este tipo de comportamiento.

La probabilidad de fallo del sistema por tal motivo aumenta al paso del tiempo, de acuerdo al análisis del historial de fallas, por tal motivo para los próximos tres meses de operación se esperan que fallen seis equipos de pintura neumático.

Figura 29. Gráfico probabilidad de falla vs tiempo EPN.



Fuente: WeibulleIM

En conclusión, un análisis estadístico Weibull con ayuda del análisis FMEA y el valor del parámetro β generan con gran exactitud el valor de confiabilidad de 70,01%, probabilidad de fallo de 29,93%, posibles causas de falla a futuro y la ubicación de los equipos al final de la curva de la bañera en una tasa de riesgo creciente para los próximos tres meses, observando que la confiabilidad del grupo va en caída y la probabilidad de fallo seguirá en aumento.

Para mitigar la probabilidad de falla la empresa debe tomar medidas y políticas de cambio de aquellos equipos que han cumplido su ciclo y acogerse al plan de mantenimiento preventivo y las rutinas de mantenimiento. Con este resultado se espera evaluar por parte de la directiva la alternativa de sacar de servicio y reemplazar los equipos que no posean la integridad necesaria para realizar un trabajo confiable, disminuyendo los costos de mantenimiento y tiempos muertos al comprar nuevos equipos, igualmente se espera un aumento de disponibilidad operacional, confiabilidad del proceso y retorno del capital invertido.

7.5 BENEFICIOS AL APLICAR RCM II

Por medio de esta implementación se logró identificar los defectos en el proceso que deben ser eliminados o reducidos.

- Se identificó las formas en las que el proceso puede fallar para cumplir con los requerimientos de operación.
- Se priorizaron las acciones a llevar a cabo para solucionar los problemas con frecuencia de aplicación en el proceso productivo, reduciendo riesgos de fallo.
- Mejora de la calidad y confianza de los productos y servicios de la empresa.
- Reducción del tiempo del proceso de mantenimiento al disponer de la hoja de información y hoja de decisiones RCM reduciendo los costos de este proceso.

El RCM II no busca reducir el costo de mantenimiento, sino aumentar la rentabilidad de la inversión a través de mejoras substanciales del mantenimiento, el RCM II determina todos los modos de fallo probables y elige para cada uno de ellos la tarea de mantenimiento más costo-eficaz.

Los fallos ocultos al no ser detectado oportunamente generan consecuencias de alto costo, totalmente evitables con un análisis de causa raíz, ahorrando tiempo en paradas de emergencias, costos inesperados de repuestos y lucro cesante ya que un modo de fallo se corregía con mantenimiento correctivo.

Ejecutar acciones de cambio de equipos que cumplan con su ciclo sin duda disminuye horas de indisponibilidad, costos de mantenimiento, también la empresa podrá proyectar su nivel de inventario de repuestos acorde a los mantenimientos.

8. DISEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN

Se implementó un sistema de información para la gestión del área de mantenimiento. El sistema diseñado tiene la capacidad de almacenar datos y tener acceso por medio web, otorgando independencia para operarlo desde cualquier computador con acceso a internet.

8.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN¹⁰

Un sistema de información es un conjunto de componentes interrelacionados para manipular, recolectar y distribuir datos e información proporcionando un mecanismo de retroalimentación útil en el cumplimiento de los objetivos.

- **Programación PHP:** (*Hypertext Pre-Processor*) es un lenguaje de script interpretado en el lado del servidor utilizado para generación de páginas web dinámicas, embebidas en páginas HTML. Para su funcionamiento necesita tener instalado Apache o ISS con las librerías de PHP, algunas de sus ventajas son:

- Facilidad de aprendizaje.
- Se caracteriza por ser un lenguaje muy rápido y de programación libre.
- Soporta en cierta medida la orientación a objeto, Clase y herencia.
- En un lenguaje multiplataforma con capacidad de ser ejecutado en: Unix, Linux, Windows entre otros.
- Capacidad de conexión con la mayoría de los manejadores de base de datos: MySQL, PostgreSQL, Oracle, MS SQL Server, entre otras.
- Capacidad de expandir su potencial mediante la utilización de módulos.

¹⁰DÍAZ RODRÍGUEZ, Jorge y SANABRIA ORTIZ, Oscar. Mejoramiento del sistema de información para la gestión del mantenimiento SIGMERP en la empresa Rafael Escobar Contreras. Trabajo de grado, 2013, pág. 111-113

- **Base de datos:** Es una serie de datos organizados y relacionados entre sí, y un conjunto de programas que permiten al usuario acceder y modificar esos datos, proporcionan la infraestructura requerida para la toma de decisiones, mediante la disponibilidad de información.

La mejor opción para la gestión de datos disponibles en el mercado y que se ajusta a los requerimientos planteados por el sistema es el MySQL donde emplea motores de almacenamiento reemplazables, permitiendo utilizar el motor de almacenamiento más adecuado para cada necesidad concreta.

8.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Un sistema es un conjunto de elementos o componentes que interactúan entre sí para cumplir ciertas metas. Los elementos y las relaciones entre ellos determinan el funcionamiento del sistema.

8.3 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN

Un programa para la gestión del mantenimiento consta de varios procesos como lo son:

- **Entradas de información:** Toda la información recopilada se organiza y almacena para ser procesada, las entradas de forma manual son las que el usuario ingresa provenientes de hojas concretamente, y de forma automática cuando son extraídas de otros submódulos tanto del mismo sistema como de otro.
- **Procesamiento:** Consiste en el tratamiento de los datos, o componentes de la información, mediante el sistema, generando transformaciones dato – información para luego ser útiles para el desarrollo de las actividades.

- **Almacenamiento:** Toda la información ingresada al sistema es almacenada, se podrá extraer o recordar las actividades ejecutadas anteriormente, toda esta información se almacenan en bases de datos.

- **Salidas de información:** Dirigir la información procesada al exterior del sistema de acuerdo a los módulos del sistema, información relacionada a órdenes de trabajos, reportes, inventarios, estado de equipos y rutinas de mantenimiento para su ejecución

Figura 30. Diagrama de bloques del sistema de información.

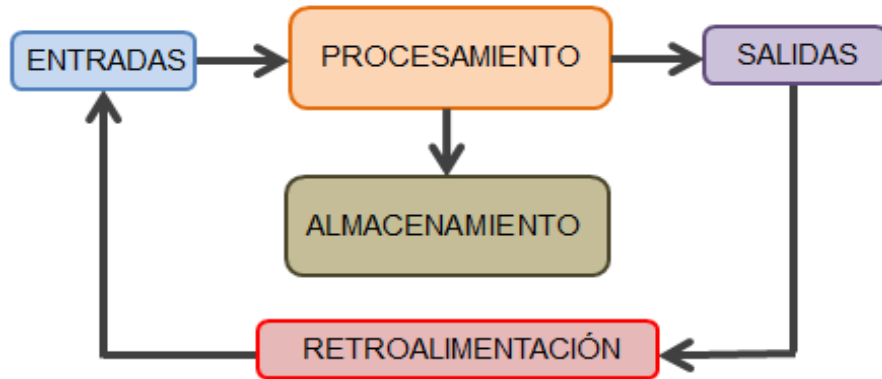


Figura 31. Entradas y salidas del sistema de información.



8.4 OBJETIVOS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN¹¹

En el área de mantenimiento principalmente es dar soporte a los procesos básicos de la organización, es por eso que una empresa que aspire a ser más competitiva y eficiente debe adoptar técnicas y sistemas que le permitan garantizar la continuidad de sus procesos y calidad de sus productos y servicios. Algunos de los objetivos de un sistema de información son:

- Proporcionar datos oportunos y exactos que permitan tomar decisiones acertadas.
- Garantizar información exacta y confiable así como su almacenamiento de tal forma que esté disponible.
- Prolongar la vida útil de los equipos de la empresa y controlar el costo directo de mantenimiento de la empresa, mediante el uso adecuado del tiempo, materiales, mano de obra y servicios.

8.5 REQUERIMIENTOS DEL HARDWARE

Al ser un lenguaje de programación en web, puede ser implementado en cualquier computador que tenga acceso a internet.

8.6 MÓDULOS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN

Los módulos y características del sistema de información para la gestión del mantenimiento RCM II en la empresa MAG INGENIEROS LTDA, son:

¹¹ ROYS P, Luis Carlos y REY REY, Vladimir. Implementación de un sistema de información para la empresa pretector Ltda. Para la gestión del mantenimiento. Trabajo de grado. 2011, 268 p

8.6.1 Módulo de administración

En este módulo encontramos la información relacionada de los usuarios que pueden ingresar al sistema, los roles asignados por el administrador jefe para editar, eliminar y crear permisos, este módulo está conformado por:

- **Usuarios**

Aquí encontramos un listado de las personas que tienen acceso al sistema de información controlado por un administrador jefe otorgando interacción en el sistema hasta cierto nivel, el cual designa las tareas y permisos de acuerdo al rol.

- **Personal encargado mantenimiento**

Este submódulo encontramos la información necesaria del personal encargado del mantenimiento de la empresa, nombre, edad, fecha de ingreso y tareas asignadas dentro del proceso del mantenimiento.

- **Proveedores**

Aquí encontramos toda la información sobre los proveedores, de equipos, herramientas, insumos como aceite, granalla, pintura, calibración, certificaciones de los equipos entre otros.

8.6.2 Módulo equipos

En este módulo podemos encontrar la información relacionada a toda la línea de equipos de la empresa, codificadas con sus respectivas fichas técnicas, hojas de vida. Este módulo contiene los siguientes submódulos:

- **Fichas técnicas**

En este submódulo encontramos para cada equipo su respectiva ficha técnica, donde se consigna de forma más detallada la información del mismo, y un registro fotográfico, construida a través de los manuales.

- **Hojas de vida**

En este submódulo se consigna toda la información relacionada con los mantenimientos que se realizan y programan a cada uno de los equipos, indicando las fechas de las intervenciones, repuestos y personal encargado en un formato para llevar control y crear un historial de cada máquina.

8.6.3 Módulo gestión del mantenimiento

En este módulo se consigna toda la información relacionada con las actividades de mantenimiento a ejecutar, asegurando el cumplimiento de las labores de mantenimiento preventivo y correctivo, se crea una orden de trabajo donde se especifican las labores a realizar, causas y recursos necesarios, esto para dejar constancia en el sistema, este módulo está conformado por:

- **Rutinas de mantenimiento**

En este submódulo podemos consultar un listado de todas las labores de mantenimiento preventivo por medio del código de máquina, explicando las labores respectivas para ejecutar en los tiempos recomendados.

- **Orden de trabajo**

Consignan las ordenes de trabajos elaboradas con anterioridad para su ejecución por medio de la codificación de los equipos, también se pueden crear órdenes de trabajos para un equipo, donde se solicitará información correspondiente a los causales de esta, deberá ser diligenciada por el encargado de mantenimiento.

Tabla 38. Formato Orden de trabajo.

| | | | | | | | |
|---|-------------------------|-----------------|----------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|--------|
|  | ORDEN DE TRABAJO | | | | Versión | | 1 |
| | | | | | Página | | 1 |
| NIT 900.151.062-9 | GR-F-10 | | | | Orden Nro. | | |
| Tipo de trabajo | | | | | Hora | | |
| Fecha ejecución | D D | | MM | | AA | Riesgo del trabajo | |
| Tipo de problema | — | | | | | | |
| Código equipo | | | | Equipo | | | Modelo |
| Medidas de seguridad | | | | | | | |
| Responsable del trabajo | | | | Cargo | | | |
| Descripción del trabajo a realizar: | | | | | Repuestos e insumos a usar: | | |
| Código repuesto | | Nombre repuesto | Cantidad | Ubicación | Proveedor | | |
| | | | | | | | |
| Observaciones: | | | | | | | |
| Tiempo de duración del trabajo | | | | Costo del trabajo realizado | | | |
| Recomendación: | | | | | | | |
| FIRMA DEL OPERARIO | | | | FIRMA DEL SUPERVISOR | | | |

- **RCM II**

En este submódulo podremos observar un análisis RCM II a aquellos equipos que por medio del análisis de criticidad resultaron críticos, contando con los análisis FMEA y hoja de decisiones para estos equipos con el fin de informar al encargado del mantenimiento las tareas que debe ejecutar.

8.6.4 Módulo inventarios

En este módulo encontramos todo lo relacionado a cantidades de equipos, herramientas y repuestos de la empresa, con posibilidad de modificar, crear, eliminar, agregar y retirar recursos de forma controlada para ubicar fácilmente los equipos y herramientas, este módulo se divide en:

- **Salidas y entradas**

Presenta información acerca de los movimientos en bodega, salidas de equipos, solicitando información como destino, cantidad y personal encargado, cuando los recursos vuelven a la empresa, o se adquieren por medio de compra.

- **Almacén**

Este submódulo consigna el inventario de todos los repuestos con los que la empresa cuenta, garantizando control de estos y mantener una cantidad mínima para suplir con las necesidades del mantenimiento de los equipos.

- **Herramientas**

En este submódulo se encuentra el inventario de todas las herramientas consideradas menores de la empresa y ubicación en bodega, para mantener cantidades mínimas y asegurar un movimiento seguro de estos.

8.6.5 Módulo alarmas

Se encuentran las posibles fallas que pueden suceder en la línea de equipos o cumplimiento de la vida útil de algún repuesto, estas fallas están documentadas por medio de su periodicidad, dados por los operarios de las máquinas y recomendaciones de los fabricantes.

8.6.6 Módulo desempeño del mantenimiento

En este módulo se encuentran los indicadores del mantenimiento, arrojando una medida cuantitativa de la efectividad de las labores desarrolladas como disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad, cumplimiento, costos de mantenimiento y análisis de Weibull.

8.6.7 Módulo ayuda

Se consigna un manual del usuario del sistema de información, con opción de imprimir, mostrando información acerca de todos los módulos, recomendaciones de uso para crear, editar, borrar e imprimir un orden de trabajo entre otros.

8.7 CAPACITACIÓN

La realización de una capacitación del personal de mantenimiento, en la metodología RCM II y en el manejo del sistema de información dará mayor competitividad y habilidad a la hora de tomar decisiones referentes a los equipos.

Para asegurar el cumplimiento de los objetivos del proyecto de grado y la continuidad de la metodología aplicada, se han desarrollado secciones de capacitaciones de dos horas diarias durante una semana, en la bodega de Barrancabermeja y Coveñas, cabe resaltar que el diseño y programación del sistema de información se ha realizado aproximadamente en cuatrocientas (400) horas de trabajo en horario de oficina de Lunes a Viernes.

Para futuras capacitaciones o la realización de esta práctica de manera autónoma se ha desarrollado un manual del usuario que explica paso a paso el manejo del sistema, se puede encontrar en el Anexo D en el CD adjunto a este libro.

9. CONCLUSIONES

- Se ejecutó un proceso de inventario y codificación de los equipos de la empresa constituido por ochenta equipos grandes, cuatrocientos ochenta grupos de herramienta menor y diez automotores, verificando su estado actual y reubicándolos en bodega de acuerdo a su uso, el tiempo usado en el desarrollo de esta actividad junto con los análisis de criticidad, FMEA y Weibull se estimó aproximadamente en mil quinientas horas de horario de oficina de Lunes a Sábado.
- Se elaboró un análisis de criticidad para jerarquizar los equipos y un análisis de fallas y efectos FMEA como parte de la metodología RCM II a los equipos críticos, generando hojas de información FMEA y hoja de decisiones RCM II para ayudar en la toma de decisiones, dicha labor se llevó a cabo en cuatro reuniones de tres horas diarias en horario laboral cuyos integrantes fueron: el Gerente general, gerente de proyectos (Ing. Mecánico), tres mecánicos automotrices, un eléctrico y los dos autores del proyecto.
- Se implementaron los formatos para recopilar y consignar la información necesaria en el programa de mantenimiento tales como el diseño de ochenta fichas técnicas, cien hojas de vida, órdenes de trabajo y catorce rutinas de mantenimiento.
- Se implementó un análisis estadístico Weibull al grupo de Compresores, con ayuda del análisis FMEA y el valor del parámetro β generaron un valor de confiabilidad del 61,85%, probabilidad de fallo del 38,15%, posibles causas de falla y la ubicación del grupo al final de la curva de la bañera en una tasa de riesgo creciente para los próximos tres meses, observando que la confiabilidad va en caída y la probabilidad de fallo en aumento si la empresa no toma medidas ni políticas de cambio de aquellos equipos presentan desgaste.

- Se implementó un análisis estadístico Weibull al grupo de equipos de pintura neumáticos, con ayuda del análisis FMEA y el valor del parámetro β generaron un valor de confiabilidad del 70,01%, probabilidad de fallo del 29,93%, posibles causas de falla y la ubicación del grupo al final de la curva de la bañera en una tasa de riesgo creciente para los próximos tres meses, observando que la confiabilidad va en caída y la probabilidad de fallo en aumento si la empresa no toma medidas ni políticas de cambio de aquellos equipos presentan desgaste.
- Se diseñó e implemento un sistema de información para consignar toda la información acerca de los equipos y personal de mantenimiento, el sistema tiene una base de datos MySQL, teniendo acceso por medio web, otorgando independencia para operarlo desde cualquier computador con internet, en la fase de diseño e implementación del sistema se usaron cuatrocientas horas en horario de oficina de Lunes a Viernes.
- Se desarrolló con éxito la capacitación del personal, llevada a cabo en las instalaciones de bodega, por medio de secciones de dos horas diarias durante una semana, se socializaron los cuidados y recomendaciones de la metodología RCM II como del sistema de información, se entrega un manual del usuario explicativo para el fácil manejo del software.

10.RECOMENDACIONES

- El personal encargado del mantenimiento en la empresa MAG INGENIEROS LTDA debe estar capacitado en el manejo del sistema de información y en la metodología RCM II aplicada a la línea de equipos con el fin de generar y realizar las actividades correctas para cumplir con los objetivos planteados.
- El sistema de información al ser desarrollado en lenguaje de programación PHP y debido a la cantidad de módulos que maneja, se recomienda ser operado en computadores con acceso a internet con navegador Google Chrome.
- Es necesario que los trabajadores que sean designados al manejo del sistema de información tengan un sentido de pertenencia con la organización y no divulguen su usuario y clave de acceso, ya que este sistema maneja información importante acerca de los activos, proveedores y cantidades.
- Es recomendable que se realicen las actualizaciones pertinentes al sistema, base de datos y rutinas de mantenimiento con el fin de mantener activo el software.

BIBLIOGRAFÍA

DE LA OSSA GONZALEZ, Carlos Alberto y GÓMEZ GUARÍN, Julián Camilo. Desarrollo de un programa para el cálculo de la confiabilidad operacional de activos basado en distribuciones estadísticas Weibull. Trabajo de grado Ingeniería Mecánica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2014, 135 p.

DÍAZ RODRÍGUEZ, Jorge y SANABRIA ORTIZ, Oscar. Mejoramiento del sistema de información para la gestión del mantenimiento SIGMERP en la empresa Rafael Escobar Contreras. Trabajo de grado Ingeniería Mecánica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2013, pág. 111-113.

European Federation of National Maintenance Societies. Definición de mantenimiento [En línea] <http://www.efnms.org/What-EFNMS-stands-for/m1312/What-EFNMS-stands-for.html> [Citado el 29 de Julio de 2014].

GONZALEZ FERNANDEZ, Francisco Javier, Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión. Madrid: Fundación Confemetal, 2004, pág. 101-175.

MORERA ARDILA, Víctor Hugo y VALENCIA QUINTERO, Carlos Antonio. Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad para la productora de concreto Hormigón Colombia S.A. Trabajo de grado Ingeniería Mecánica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2013, p. 60.

MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Lillington: Aladon Ltd, 2004, 433 p.

PEREZ, Carlos Mario. Los indicadores de gestión. Soporte y Cia Ltd, Bucaramanga, 2007, p.11.

PEREZ CONTRERAS, Beatriz y PLATA TORRES, Fabio. Modelo del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II de los equipos de la división de hidrocarburos y explotación de minerales "H&EM" de la empresa Drummond Ltd Colombia. Monografía de grado Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2010, p. 85.

ROYS P, Luis Carlos y REY REY, Vladimir. Implementación de un sistema de información para la empresa Pretecor Ltd para la gestión del mantenimiento. Trabajo de grado Ingeniería Mecánica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2011, 268 p.

TORRES, Bernardo. Análisis y desarrollo de la aplicación informática para el mantenimiento preventivo. Valencia: Alfaomega, 2000, pág. 35-38.

Universidad Politécnica Salesiana, Capítulo 1. Introducción al mantenimiento RCM, Ecuador. [En línea] http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/931/5/Capitulo_1.pdf [Citado el 30 de Julio del 2014].

ANEXOS

Anexo A. Carta de visto bueno por MAG INGENIEROS LTDA



SERVICIO DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS ESTÁTICOS COMO TANQUES, VASIJAS Y TUBERÍAS, INCLUIDA LA LIMPIEZA Y RETIRO DE BORRAS, PREPARACIÓN DE SUPERFICIE CON GRANALLA, SANDBLASTING, WETBLASTING Y APLICACIÓN DE PINTURA INDUSTRIAL; DESMANTELAMIENTO, PREFABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE TUBERÍA Y ACCESORIOS



Barrancabermeja Abril 8 del 2015


Señores
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Bucaramanga

REF. Sistema de información para la gestión del mantenimiento preventivo RCM.

Atentamente me permito informar que hemos recibido e implementado a satisfacción el sistema de información para la gestión del mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II para la línea de equipos de la empresa MAG INGENIEROS LTDA, realizado por los estudiantes JAIRO ALONSO ACOSTA NIETO y LEYDI CAROLINA BARRERA GUEVARA de Ingeniería Mecánica.

Cordialmente.




JARBY ERNESTO GARCÍA CASTAÑEDA
Representante legal
MAG INGENIEROS LTDA

Anexo B. Fichas técnicas de los equipos
[Ver Anexo carpeta en CD]

Anexo C. Auditoría de mantenimiento
[Ver Anexo Carpeta en CD]

Anexo D. Manual del usuario del sistema de información
[Ver Anexo Carpeta en CD]

El manual del usuario cumple con un objetivo del proyecto, representando un documento de ayuda para el usuario, describiendo detalladamente los módulos que componen el sistema de información, la forma de crear, editar, ingresar, imprimir y eliminar datos acerca de los activos de la empresa.