

**PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCA) PARA EL  
MOTOSOLDADOR MILLER 600X UTILIZADO EN EL PROCESO DE  
SOLDADURA PARA EL CONTRATO DE "RECONSTRUCCION Y  
SOLDADURA DE COMPONENTES Y EQUIPOS MINEROS" DE MECANICOS  
ASOCIADOS S.A.S EN LA EMPRESA EL CERREJÓN**

**ORLANDO AMADO INFANTE  
FERNANDO BELEÑO IBARRA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2013**

**PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCA) PARA EL  
MOTOSOLDADOR MILLER 600X UTILIZADO EN EL PROCESO DE  
SOLDADURA PARA EL CONTRATO DE "RECONSTRUCCION Y  
SOLDADURA DE COMPONENTES Y EQUIPOS MINEROS" DE MECANICOS  
ASOCIADOS S.A.S EN LA EMPRESA EL CERREJÓN**

**ORLANDO AMADO INFANTE**

**FERNANDO BELEÑO IBARRA**

**Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de  
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director: José Miguel Buelvas Ortiz**

**Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

## DEDICATORIA

*A Dios que nos da la vida y la sabiduría para hacer las cosas.*

*A nuestras esposas por su comprensión, aliento y amor inagotable. Su  
compañía y apoyo en todo el desarrollo de este proyecto fue invaluable y  
fundamental para su realización.*

*A nuestros hijos; por la atención y el tiempo de dedicación dejados de dar.*

*A nuestros familiares y amigos.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A DIOS por su infinita misericordia y bondad, al bendecirnos con esta oportunidad de crecimiento profesional necesario para nuestro desarrollo y adquisición de experiencia y nuevos conocimientos.

A nuestras familias que siempre nos apoyaron y estuvieron dispuestas a soportar el distanciamiento y la poca dedicación de tiempo para ellos, debido al compromiso adquirido.

Las Empresas MECANICOS ASOCIADOS S.A.S y SOTRANS LTDA, por el apoyo y el tiempo brindado para la ejecución de la Especialización.

Al cuerpo docente de la Universidad Industrial de Santander por el conocimiento compartido.

A la Universidad Autónoma de Barranquilla por el uso de sus instalaciones y servicios prestados, que hicieron posible la realización de esta Especialización.

A todos los compañeros de la especialización.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	17
1 MECANICOS ASOCIADOS S.A.	18
1.1 RESEÑA HISTORICA	18
1.2 CONTRATO DE RECONSTRUCCIÓN Y SOLDADURA DE COMPONENTES Y EQUIPOS MINEROS	19
1.2.1 FLOTA DE MOTOSOLDADORES	20
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.4 OBJETIVOS	22
1.4.1 Objetivo General	22
1.4.2 Objetivos Específicos	23
1.5 JUSTIFICACION DEL PROYECTO	24
2. MARCO TEORICO	25
2.1 CONFIABILIDAD OPERACIONAL	25
2.1.1 Beneficios de la confiabilidad operacional	27
2.1.2 Aplicación de la confiabilidad operacional.	27
2.1.3 Herramientas de confiabilidad operacional	28
2.2 ANÁLISIS CAUSAS RAÍZ (RCA)	29
2.2.1 Causas Raíces	31
2.3 APLICACIÓN DEL RCA.	31
2.3.1 Paso1: Identificar los eventos más significativos	33
2.3.2 Paso 2: Preservar las evidencias de las fallas	35

2.3.3 Paso 3: ordenar el análisis	35
2.3.4 Paso 4 construir el árbol lógico de fallas.	36
2.3.5 Paso 5: comunicar los resultados y las recomendaciones	38
2.3.6 Paso 6: hacer seguimiento a los resultados	39
2.4 INDICADORES DE GESTION DE MANTENIMIENTO	40
2.4.1 Disponibilidad.	40
2.4.2 Confiabilidad	40
2.4.3 Mantenibilidad	42
3. ANALISIS DE DATOS SOBRE FALLAS EN MOTOSOLDADORES	43
3.1. MOTOSOLDADORES	43
3.1.1 Motor.	44
3.1.2 Sistema Eléctrico:	47
3.1.3 Sistemas de Control:	48
3.1.4 Tráiler:	48
3.2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	49
4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	54
4.1. ANÁLISIS DE FALLA A “ESTATOR Y LÍNEA DE 110V QUEMADOS”	56
4.1.1. Construcción del árbol lógico de fallas.	57
4.2 ANALISIS DE FALLA A “DESPRENDIMIENTO DE RUEDA DE TRAILER”	64
4.3. PERDIDA DE POTENCIA EN MOTOR DE MOTOSOLDADOR	68
4.4. GRIETAS EN EL TRAILER DE MOTOSOLDADOR	70
4.5 PROPUESTA DE SEGUIMIENTO A LAS RECOMENDACIONES EMITIDAS PARA LA ELIMINACION DE LA FALLA	73
4.5.1 Justificación	74

4.5.2 Proceso metodológico	74
4.5.3. Plan de seguimiento a las recomendaciones emitidas para la eliminación de las fallas.	75
5. PLAN MANTENIMIENTO PREVENTIVO	82
5.1 PLANEACION DEL MANTENIMIENTO	83
5.2 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	85
5.2.1 Inspección diaria.	86
5.2.2 Rutina de Mantenimiento.	87
5.3 CONTROL DEL PROGRAMA	90
5.4 INDICADOR DE DISPONIBILIDAD	91
6. GESTION DE INVENTARIOS	93
6.1 GESTIÓN Y MANEJO DE CONSUMIBLES	93
6.1.1 Costos.	96
6.1.2 Nivel de Servicio.	98
6.2 CLASIFICACIÓN ABC	98
7. CONCLUSIONES	101
BIBLIOGRAFIA	102
ANEXOS	103

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Estructura organizacional de Mecánicos Asociados S.A.S	19
Figura 2. Ubicación geográfica de la mina Carbones del Cerrejón	20
Figura 3. Cargue de camiones con estéril con pala Eléctrica	21
Figura 4. Motosoldador de Reporte	21
Figura 5. Motosoldador de soporte	21
Figura 6. Parámetros Operativos de la confiabilidad operacional	26
Figura7. Herramientas de Confiabilidad Operacional	28
Figura8. Análisis Causa Raíz	30
Figura 9. Fallas Esporádicas Vs Crónicas	32
Figura10. Diagrama de Pareto	34
Figura 11. Proceso Lógico del RCA en análisis de Fallas	37
Figura 12, Tipos de Disponibilidad	41
Figura13. Motosoldador BIG BLUE 600X	43
Figura14. Especificaciones Técnicas Motosoldador Big Blue 600X	44
Figura15, Motor PERKINS 404D, lado izquierdo	45
Figura16, Motor PERKINS 404D, lado derecho	46
Figura 17, Grafico de Pareto	53
Figura 18. Matriz de decisión de RCA	54
Figura 19, Hornos de Soldadura	56
Figura 20, Motosoldador que sufrió la falla.	57
Figura 21, Primer paso para la construcción del árbol lógico de fallas	57
Figura 22, Modos de Falla	58
Figura 23, Estator quemado	58
Figura 24, líneas de estator quemadas	59
Figura 25, Breaker Quemado	60

Figura 26, Hipótesis de causas Físicas	61
Figura 27. Verificación, causas humanas	62
Figura 28. Causas Latentes	62
Figura29. Árbol Lógico de Fallas, Estator Quemado	63
Figura 30. Eje de Tráiler de Motosoldador	65
Figura 31.Especificaciones de eje de Tráiler	67
Figura 32. Especificaciones de las Masas del Tráiler	68
Figura 33. Árbol de Fallas, Desprendimiento de rueda de tráiler	69
Figura34. Árbol de Fallas, Perdida de Potencia en Motor	69
Figura 35. Corrosión en Guardabarros	70
Figura 36. Corrosión y grieta en Guardabarros de Motosoldador	70
Figura 37. Grietas en tiro de motosoldador	71
Figura 38. Instructivo para Mantenimiento Preventivo de motosoldador	84
Figura 39. Inspección Preoperacional De Motosoldador	86
Figura 40. Rutina de Mantenimiento de Motosoldador	88
Figura 41. Instructivo para revisión eléctrica de motosoldadores	89
Figura 41. Costos de Inventarios	96

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Tipos de datos recolectados	49
Tabla 2, Información recolectada de fallas en motosoldadores	49
Tabla 3, Fallas y Tiempo de duración	52
Tabla 4, Recomendaciones a Falla de Estator	64
Tabla5. Recomendaciones, Falla en eje de Tráiler	68
Tabla6. Recomendaciones a falla de pérdida de potencia en motor	69
Tabla 7. Recomendaciones en falla Grietas en Motosoldador	72
Tabla 8. Recomendaciones Fallas en Motosoldador	72
Tabla 9, Seguimiento Semanal a Mantenimiento	91

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO A. EQUIPO RCA</b>	102
<b>ANEXO B. RUTINA MANTENIMIENTO DE FABRICANTE</b>	104

## RESUMEN

**TITULO:** PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCA) PARA EL MOTOSOLDADOR MILLER 600X UTILIZADO EN EL PROCESO DE SOLDADURA PARA EL CONTRATO DE "RECONSTRUCCION Y SOLDADURA DE COMPONENTES Y EQUIPOS MINEROS" DE MECANICOS ASOCIADOS S.A.S EN LA EMPRESA EL CERREJÓN.\*

**AUTORES:** ORLANDO AMADO INFANTE, FERNANDO BELEÑO IBARRA.\*\*

**PALABRAS CLAVES:** RCA, CONFIABILIDAD OPERACIONAL, DISPONIBILIDAD, DIAGRAMA PARETO, ARBOL LOGICO DE FALLAS, MOTOSOLDADOR.

La empresa Mecánicos Asociados S.A.S en su contrato de Soldadura cuenta con una serie de Motosoldadores, para los cuales se desarrolló un plan de mantenimiento que tiene como objetivos mejorar la disponibilidad y reducir los costos de mantenimiento de los equipos. Esta monografía inicia con las generalidades de la empresa, después se planteó la problemática, objetivos y justificación de la solución. Cuenta con un capítulo teórico que nos permite conocer acerca de la confiabilidad operacional y muestra los beneficios y herramientas del análisis causa raíz, RCA.

En el proceso de aplicación del RCA, se utilizó un análisis cuantitativo que a través del diagrama de Pareto facilitó identificar las fallas en los equipos motosoldadores, posteriormente se utilizó un análisis cualitativo con el cual se encontraron las verdaderas causas de la falla utilizando la herramienta del árbol lógico de fallas que mediante procedimientos lógicos permitió representar gráficamente las relaciones de causa y efectos que condujeron a descubrir las causas raíces que originaron las fallas repetitivas en los motosoldadores. Del proceso de aplicación de la metodología RCA surgieron recomendaciones tendientes a la eliminación definitiva de las fallas en los motosoldadores con las cuales se busca que los problemas no sean recurrentes. Se construyó un plan de seguimiento que contiene acciones mejorativas, actividades, metas e indicadores que permitan ejercer un mayor control sobre los procedimientos sugeridos para la solución adecuada de los problemas presentados.

Posteriormente se diseñó un plan de mantenimiento constituido con actividades de planificación, organización y control; además se estableció como indicador de mantenimiento para los motosoldadores la disponibilidad genérica. Para finalizar se presenta una noción o bosquejo de la importancia de mantener unos inventarios que nos permitan asegurar los mantenimientos planeados, para ello se muestra unas fórmulas matemáticas que permitan controlar los pedidos identificando las cantidades óptimas de los mismos

\*Monografía

\*\*Facultad de Ingenierías Físico -Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: José Miguel Buelvas Ortiz, Ingeniero Mecánico.

## **SUMMARY**

**TITLE:** MAINTENANCE PLAN BASED ON RELIABILITY (RCA) MOTOSOLDADOR MILLER 600X FOR USE IN WELDING PROCESS FOR THE CONTRACT OF "RECONSTRUCTION AND WELDING AND MINING EQUIPMENT COMPONENTS" OF MECANICOS ASOCIADOS S.A.S IN THE COMPANY EL CERREJÓN

**AUTHORS:** ORLANDO AMADO INFANTE, FERNANDO BELEÑO IBARRA

**KEYWORDS:** RCA, OPERATIONAL, AVAILABILITY, PARETO DIAGRAM, FAULT TREE LOGIC, MOTOSOLDADOR

The Mechanical Asociados SAS Company in Welding contract has a number of Motosoldadores, for which we developed a maintenance plan that aims to improve the availability and reduce maintenance costs of the equipment. This paper begins with an overview of the company, after the issue was raised, objectives and justification of the solution. It has a theoretical chapter that lets us know about the operational reliability and shows the benefits and the root cause analysis tools, RCA.

In the process of implementation of the RCA, we used a quantitative analysis through facilitated Pareto diagram identify motosoldadores equipment failures, then used a qualitative analysis which found the real causes of the failure of using the logical tree failures by logical procedures allowed graph the cause and effect relationships that led to discover the root causes that originaros repetitive failures in motosoldadores. From process RCA methodology recommendations were aimed at the ultimate elimination of failures motosoldadores with which it is intended that the problems do not recur. Built a monitoring plan containing mejorativas actions, activities, goals and indicators to exercise greater control over the suggested procedures for the proper solution of the problems presented.

Then we designed a maintenance plan set up with planning, organization and control; also established himself as maintenance indicator for general availability motosoldadores. Finally we present a concept or sketch of the importance of maintaining inventories that allow us to ensure planned maintenance; this will show a mathematical formula to help manage orders by identifying the optimal amounts of the same

\* Monograph

\*\* School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization, Director: José Miguel Buelvas Ortiz, Mechanical Engineer

## INTRODUCCIÓN

Mecanicos Asociados ha implementado la aplicación de varias metodologías de análisis de Fallas en los diferentes tipos de contratos que maneja. Todas ellas con el claro objetivo de optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción de cada uno de sus centros de negocio. La metodología análisis causa raíz o RCA es de las más exitosas sin contar la facilidad y rapidez para su aplicación arrojando excelentes resultados a corto plazo. Teniendo en cuenta los resultados sobresalientes del RCA, el contrato de soldadura de Mecanicos Asociados quiso dirigir todos los esfuerzos hacia la conservación y buen mantenimiento de los motosoldadores Miller 600X esto debido a que estos equipos son considerados la columna vertebral de los trabajos de reconstrucción y soldadura en campo. Para el buen desarrollo y aplicación de la metodología RCA se creó un grupo interdisciplinario conformado por integrantes del contrato de Reconstrucción de Soldadura y un ingeniero externo, logrando con esto tener una visión externa que nos garantice y nos permita romper los paradigmas a los cuales nos vemos encerrados muchas veces por la cotidianidad que nos lleva tratar los problemas con poca objetividad y no permitiendo encerrándonos en un círculo vicioso que no nos permite llegar muchas veces a la verdadera causa raíz del problema. El análisis de la información a utilizar se realiza utilizando herramientas estadísticas como el diagrama de Pareto, para luego someter a un riguroso análisis las fallas utilizando el diagrama Causa – Efecto para llegar a la verdadera causa raíz del problema. La aplicación de la metodología finaliza con la creación de un plan de acción que permita poner control a los procesos que así lo requieran, retroalimentar al personal e implementar nuevos procedimientos de trabajo. Actualmente, la economía globalizada requiere de desarrollo de nuevos enfoques métodos y herramientas que permitan aumentar la competitividad y efectividad en los procesos y así como es necesario tener un recurso humano idóneo y altamente capacitado se requiere contar con equipos altamente

confiables, razón por la cual este proyecto se enfocó en gran proporción hacia uno de los activos principales de este contrato.

## **1 MECANICOS ASOCIADOS S.A.S**

### **1.1 RESEÑA HISTORICA**

Masa es una empresa colombiana líder en la prestación de servicios integrales de operaciones y mantenimiento, fue fundada el 20 de enero de 1983, como necesidad de organizar una compañía especializada en montajes, operación, mantenimiento eléctrico-electrónico y mecánico tanto preventivo como correctivo, que atendiera los crecientes requerimientos que el departamento del Huila se planteaba por el acelerado desarrollo petrolero de la región. La calidad de los servicios ofrecidos ha sido un factor determinante para los servicios a sectores como el minero y energético. Hoy día con un capital 100% Holandés gracias a su integración con la firma *Stork Technical Services* desde el año 2007. La empresa cuenta con más de 4000 colaboradores directos en toda Colombia, comprometidos con el progreso y desarrollo del país y de sus clientes.<sup>1</sup>

Cuenta con un Sistema Integral de Gestión “SIGMA”, que se encuentra certificado bajo la norma ISO 9001:2008 en los servicios de:

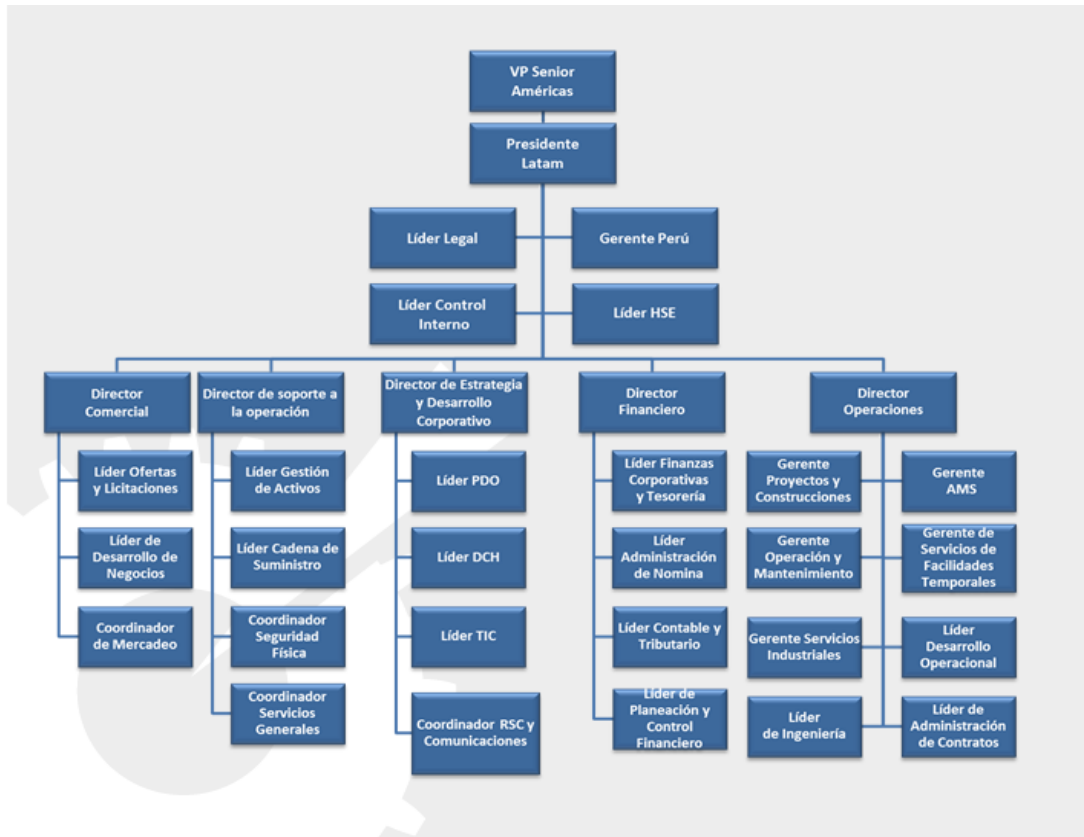
- Mantenimiento industrial de campos petroleros
- Operación y Mantenimiento de ductos para transporte de hidrocarburos
- Operación de campos petroleros
- Operación y mantenimiento de centros de generación y distribución eléctrica
- Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento e inyección de agua
- Diseño, construcción, montaje, pre-comisionamiento de proyectos EPC (Que incluyan las especialidades civil – geotecnia, edificaciones y facilidades de superficie mecánica, tubería, eléctrica y de instrumentación).

---

<sup>1</sup> <http://masateam.com/website/wwwmasa/site/index.php>

Su estructura organizacional se muestra en la figura 1.

Figura 1. Estructura organizacional de Mecánicos Asociados S.A.S



Fuente: Sistema Integral de Gestión Mecánicos Asociados S.A.S

## 1.2 CONTRATO DE RECONSTRUCCIÓN Y SOLDADURA DE COMPONENTES Y EQUIPOS MINEROS

El contrato de “Reconstrucción y Soldadura de componentes y Equipos Mineros” que en el desarrollo de la monografía llamaremos Contrato de Soldadura, pertenece a la línea de negocios Operación y Mantenimiento “O&M”

El objeto del Contrato es prestar el servicio de soldadura a equipos de operación minera incluyendo sus partes y componentes, instalaciones y plantas en la mina

de carbón a cielo abierto, El Cerrejón, ubicada en el municipio de Albania, La Guajira, como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Ubicación geográfica de la mina Carbones del Cerrejón.



Fuente: Informe de Progreso de Cerrejón – Pacto mundial 2010, Cerrejón LTD.

Cerrejón es un complejo de minería y transporte integrado en La Guajira, departamento ubicado en el extremo norte de Colombia; cuya actividad es extraer, procesar y comercializar carbón en todo el mundo. Abarca una mina a cielo abierto de carbón térmico que produce 32 millones de toneladas al año, un ferrocarril de 15 km de largo y un puerto marítimo capaz de recibir buques de hasta 180.000 toneladas de capacidad. Es una de las 10 mejores y más grandes empresas de Colombia, la compañía minera más grande del país, y unas de las minas de cielo abierto más grandes del mundo<sup>2</sup>.

**1.2.1 Flota de motosoldadores.** Los motosoldadores son parte fundamental para la prestación del servicio de mantenimiento en zona de mina para camiones mineros, palas hidráulicas y eléctricas, como los mostrados en la figura 3, cargadores, tractores y taladros. El contrato cuenta con 17 motosoldadores, los cuales están distribuidos de la siguiente manera: 6 están colocados sobre camiones para atención de reportes, figura4, 8 sobre tráiler, figura 5, para

<sup>2</sup> CERREJON, Informe de Progreso de Cerrejón (Pacto Mundial) – 2006, p. 6.

atención de paradas programadas o de soporte y 3 estáticos para otros trabajos requeridos por el cliente.

Figura 3. Cargue de camiones con estéril con pala Eléctrica



Fuente: Tajo “Patilla”, Mina carbones del Cerrejón LTD.

Figura 4. Motosoldador de Reporte



Fuente: Autores

Figura 5. Motosoldador de soporte



Fuente: Autores

### 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad 5 de los 17 motosoldadores se encuentran down debido a problemas de recalentamiento y fallas en el sistema eléctrico del generador, y varios de los restantes presentan fallas en la salida de amperaje.

El contrato cuenta con un taller para el mantenimiento de los activos; para el caso de los motosoldadores se establece paradas cada 300 horas donde se realiza cambio de aceite y filtros al motor y una revisión general del equipo, estas tareas y las paradas no programadas quedan consignadas en una orden de trabajo; actualmente no existe un plan de mantenimiento consolidado para los motosoldadores y un mecanismo que garantice que se cumpla las paradas para mantenimiento a tiempo.

El tener esta cantidad de equipos down y continuas fallas en los restantes se ve reflejado en una mala prestación del servicio, demoras en la atención a los equipos mineros, bajas de productividad, mala imagen empresarial, multas y un aumento de costos por alquiler de equipos, además el hecho de no contar con un buen plan de mantenimiento origina cierto nivel de improvisación en la aplicación del mismo, exceso de paradas no programadas y disminución del rendimiento del presupuesto de mantenimiento

Ante esta situación surge una serie de interrogantes:

¿Cuál debería ser el plan de mantenimiento adecuado para los motosoldadores del contrato?

¿Qué mecanismo debería aplicarse en conjunto con gerencia para garantizar el menor traumatismo con la parada del equipo para el mantenimiento?

¿Cómo aprovechar el historial de fallas de estos equipos para realizar el plan de mantenimiento?

¿Cuál debería ser el nivel de inventario en el almacén para realizar una determinada tarea de mantenimiento?

Que indicadores se deberían establecer para realizar seguimiento a la gestión de mantenimiento.

## **1.4 OBJETIVOS**

**1.4.1 Objetivo General.** Elaborar un Plan de Mantenimiento basado en RCA para el grupo de motosoldadores Miller 600X utilizado en el proceso de soldadura para el contrato de “Reconstrucción y Soldadura de componentes y equipos mineros” de Mecanicos Asociados S.A.S en la empresa del Cerrejón.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- ❖ Identificar las fallas potenciales de los motosoldadores Big Blue 600X del contrato de Soldadura.
- ❖ Realizar un análisis de Causa Raíz de las Fallas Potenciales.
- ❖ Determinar las tareas de mantenimiento que eviten o atenúen los efectos de las fallas analizadas.
- ❖ Determinar los niveles de inventarios de repuestos que se deben tener en almacenamiento.
- ❖ Establecer un mecanismo mediante el cual y en conjunto con Gerencia permita realizar seguimiento al mantenimiento y que se cumplan a tiempo las paradas programadas para los motosoldadores.
- ❖ Establecer indicador de disponibilidad para los motosoldadores del contrato.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.**

La realización de este trabajo de investigación se debe a la necesidad que surge en la Gerencia del Contrato de Soldadura de Mecánicos Asociados S.A.S de mejorar la gestión de mantenimiento con el fin de asegurar la disponibilidad y operatividad de los equipos. Se pretende profundizar en el ejercicio práctico del análisis de causa raíz de las fallas RCFA, como base para la creación de un óptimo Plan de Mantenimiento de los motosoldadores siendo estos equipos críticos dentro del proceso de prestación del servicio del contrato; el RCA es una herramienta poderosa para ayudar a determinar obstáculos actuales al mantenimiento, esta metodología es una respuesta adecuada a las pérdidas de producción, a los altos costos de operación y mantenimiento y a la indisponibilidad de equipos y sistemas, el RCA nos enseña que realizando cambios pequeños pero significativos se pueden eliminar de raíz grandes problemas e inclusive encontrar otra oportunidad de mejora a los procesos y eliminar los reprocesos.

El diseño del plan de mantenimiento para los motosoldadores Big Blue 600X permitirá tener una visión global y concreta de todas las acciones preventivas previstas para estos equipos dentro de la mina El Cerrejón, siendo esto de gran importancia, ya que, desarrollará un aumento de la calidad en los procesos, así como la disminución de las paradas intempestivas que conllevan a pérdida de tiempo y por lo tanto a pérdidas de capital.

Este plan de mantenimiento, ayudará a plasmar de forma organizada las tareas de mantenimiento y a apoyar la gestión de mantener activos los motosoldadores con el menor esfuerzo, en el menor tiempo, con el mínimo costo y con el máximo de eficiencia.

## **2. MARCO TEORICO**

### **2.1 CONFIABILIDAD OPERACIONAL**

La confiabilidad de un sistema o un equipo, es la probabilidad de que dicha entidad pueda operar durante un determinado periodo de tiempo sin pérdida de su función. En fin último del análisis de confiabilidad de los activos físicos es cambiar las actividades reactivas y correctivas, no programadas y altamente costosas, por acciones preventivas planeadas que dependan de análisis objetivos, situación actual, e historial de equipo, y permitan un adecuado control de costos.

La confiabilidad operacional se define como una serie de procesos de mejora continua, que incorpora en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial. La confiabilidad operacional lleva implícita la capacidad de una instalación (procesos, tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseños y bajo un específico contexto operacional.

En un sistema de confiabilidad operacional es necesario el análisis de sus cuatro parámetros operativos: confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, mantenibilidad y confiabilidad de los equipos; sobre los cuales se debe actuar si se quiere un mejoramiento continuo y de largo plazo. Estos cuatro elementos, se muestran en la figura 6.

La confiabilidad en mantenimiento se estudia como la probabilidad que un equipo sobrevivirá sin fallas un determinado periodo de tiempo bajo determinadas condiciones de operación.

Sin embargo esta definición no demuestra en realidad todos los alcances que conlleva. La confiabilidad es más que una probabilidad; es una forma de ver el mundo, en realidad es una cultura que debe implementarse a todos los niveles de la industria desde la alta dirección hasta el empleado de más bajo nivel

Figura 6. Parámetros Operativos de la confiabilidad operacional



Fuente: Reliability Word Latin America 2005

La confiabilidad como cultura busca que todas las actividades de producción y en general todas las tareas se efectúen bien desde la primera vez y por siempre; no se acepta que se hagan las cosas precariamente o a medias.<sup>3</sup>

Esto implica un cambio en la mentalidad de todo el personal de la planta, nuevas formas de pensar y de actuar, nuevos paradigmas; por esto es de radical importancia que la empresa tome conciencia de la nueva situación y de su dificultad de conseguirla. Inculcar un cambio en la forma de pensar no es sencillo, cuesta gran cantidad de trabajo y tiempo; la dirección debe enfocar sus esfuerzos en la formación de sus empleados mediante políticas que permitan la participación del personal en planes de mejoramiento continuo de procesos, círculos de participación y demás elementos que persigan alcanzar los objetivos propuestos.

Todo lo anterior requiere de soporte gerencial de alto nivel y convencimiento de que no es una tarea fácil ni a corto plazo, donde se debe hacer una gran inversión

<sup>3</sup>GARCIA, Oliverio. El Análisis Causa Raíz, Estrategia de Confiabilidad Operacional, Conferencia y exhibición Reliability Word Latín América. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2005, pág. 6

de capital y tiempo, en capacitación y reconocimiento, y donde los logros superan con creces las predicciones.

**2.1.1 Beneficios de la confiabilidad operacional.** Entre los beneficios que se pueden obtener con la implementación de un sistema integrado de confiabilidad operacional a nivel corporativo, se mencionan:

- Aumento de las utilidades por continuidad en la producción.
- Reducción del tiempo y optimización de la frecuencia, de las paradas programadas y no programadas.
- Detección precoz de fallas y optimización de las frecuencias de ejecución de acción de mantenimiento.
- Aumento de la disponibilidad de los activos e instalaciones, mediante mejora continua.
- Solución definitiva de múltiples problemas, al identificar y encauzar las fallas en su causa raíz.
- Eliminación de conflictos, al cimentar los análisis en hechos y no en suposiciones.
- Incremento en la calidad de los procesos y servicios, sobre la base de análisis de los procedimientos y acuerdos mutuos.
- Integración de la gestión de operaciones de mantenimiento y producción.
- Mejora de la Gestión del Conocimiento de los procesos y estrategias propias de la organización.
- Posicionamiento a nivel global, con el uso de las mejores prácticas de mantenimiento de las empresas de categoría mundial.

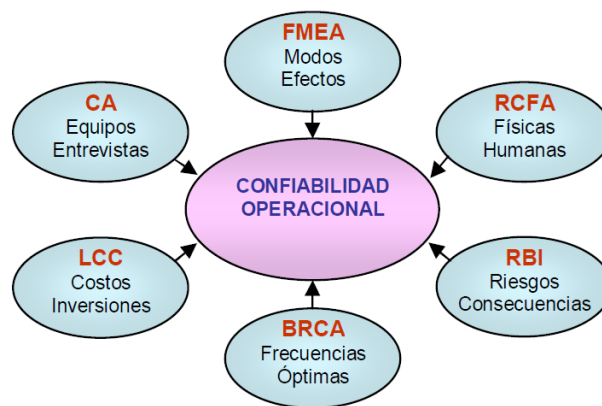
**2.1.2 Aplicación de la confiabilidad operacional.** Las estrategias de Confiabilidad Operacional se usan ampliamente en los casos relacionados con:

- Elaboración de los planes y programas de mantenimiento e inspección de equipos en instalaciones industriales.

- Solución de problemas recurrentes en los activos fijos que afectan los costos y la efectividad de las operaciones.
- Determinación de las tareas que permitan minimizar riesgos en los procesos, equipo e instalaciones, y medio ambiental.
- Establecer procedimientos operacionales y prácticas de trabajo seguro.
- Determinar el alcance y frecuencia optima de paradas de plantas.

**2.1.3 Herramientas de confiabilidad operacional.** La confiabilidad como metodología de análisis debe soportarse en una serie de herramientas que permitan evaluar el comportamiento del activo de una forma sistemática a fin de poder determinar el nivel de operabilidad, la cuantía del riesgo y las demás acciones de mitigación que se requieren, para asegurar su integridad y continuidad operacional. Son múltiples las herramientas de que se sirve la confiabilidad con el fin de formular planes estratégicos para lograr la excelencia en las actividades de mantenimiento, seis de las más utilizadas para generar estrategias vitales en la orientación y mejoramiento de la Confiabilidad Operacional, se muestran en la siguiente figura 7.

Figura7. Herramientas de Confiabilidad Operacional



Fuente: Reliability Word Latín América 2005

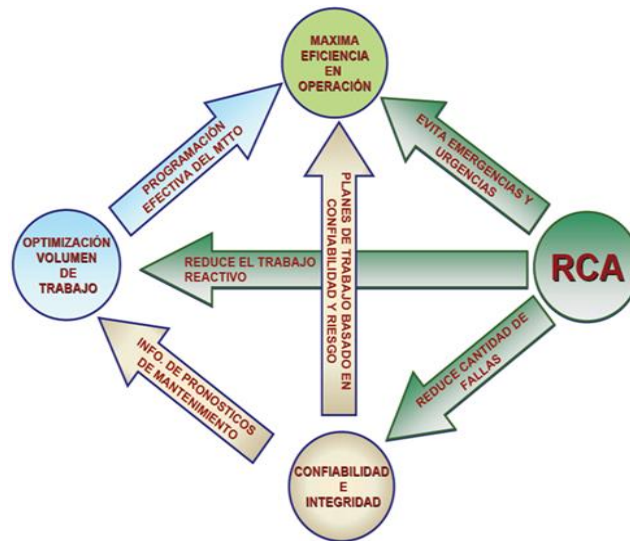
- **Análisis de Criticidad (CA).** Es una técnica que permite jerarquizar sistemas, equipos e instalaciones, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.
- **Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA).** Es una metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan.
- **Análisis Causa Raíz (RCFA).** Es una técnica sistemática que se aplica con el objetivo de determinar las causas que originan las fallas, sus impactos y frecuencias de aparición, para poder mitigarlas o eliminarlas.
- **Inspección Basada en Riesgos (RBI).** Es una técnica que permite definir la probabilidad de falla de un equipo o sistema, y la consecuencia que las fallas pueden generar sobre la gente, el ambiente y los procesos.
- **Análisis Costo, Riesgo, beneficios (BRCA).** Es una metodología que permite establecer una combinación óptima entre los costos de hacer una actividad y los logros o beneficios que la actividad genera, considerando el riesgo que involucra la realización o no de tal acción.
- **Costo del Ciclo de Vida (LCC).** El análisis LCC es una metodología que permite elegir entre opciones de inversión o acciones de incremento de la confiabilidad con base en su efecto en el costo total del ciclo de vida de un activo nuevo o en servicio.

## 2.2 ANÁLISIS CAUSAS RAÍZ (RCA)

El análisis de causa raíz de las fallas es un método riguroso para la solución de problemas en cualquier tipo de falla, se basa en un proceso lógico y en la utilización de árboles de causa de fallas, consiste en una representación visual de los eventos de una falla, en el cual por razonamiento deductivo y mediante la verificación de los hechos que ocurren se pueden llegar de una manera fácil y

fluida a las causas originales de las fallas.<sup>4</sup> El RCA presenta múltiples ventajas tal y como se aprecia en la figura 8. Con el RCFA se pueden llegar a deducir hasta tres niveles de causa raíz. Permite aprender de las fallas mediante la eliminación de causas, en vez de corregir los síntomas.

Figura8. Análisis Causa Raíz



Fuente: [www.argos.com.co](http://www.argos.com.co)

El método RCFA es una ayuda complementaria al método de análisis de fallas que perfeccionan las etapas requeridas en él, para encontrar las diferentes causas inmediatas, básicas y raíz

El objetivo del RCA es determinar el origen de una falla, la frecuencia con que aparece y el impacto que genera, por medio de un estudio profundo de los factores, condiciones, elementos y afines que podrían originarla, con la finalidad de mitigarla o eliminarla por completo una vez tomadas las acciones correctivas que sugiere el análisis.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> MORA, Alberto. Mantenimiento industrial efectivo, ed. coldi, Segunda ed. 2012, pág. 241

<sup>5</sup> GARCIA, Oliverio. El Análisis Causa Raíz, Estrategia de Confiabilidad Operacional, Conferencia y exhibición Reliability Word Latín América. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2005, pág. 6

Los beneficios que se obtienen al aplicar el RCA son:

- Proporcionar la capacidad de reconocer un patrón de fallas y evita la repetición de las mismas.
- Aumenta la confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad de los equipos.
- Mejora las condiciones de seguridad industrial y evita tiempos improductivos innecesarios.
- Disminuye del número de incidentes, reduce los impactos ambientales y los accidentes.
- Reduce las frustraciones del personal de mantenimiento y operaciones.

**2.2.1 Causas Raíces.** Existen tres tipos de causas que deben ser identificadas durante el desarrollo del RCA.

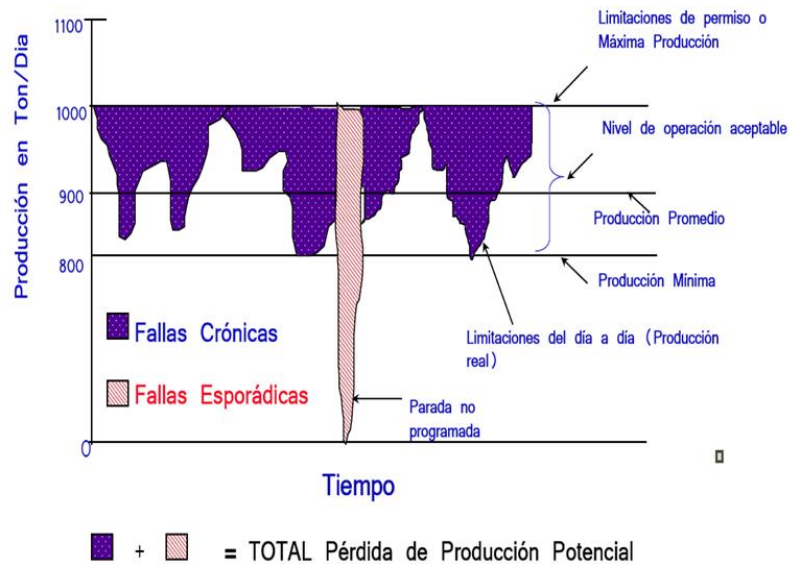
- **Causa raíz física.** Es la causa tangible de por qué está ocurriendo una falla. Siempre proviene de una raíz humana o latente. Son las más fáciles de tratar y siempre requieren verificación.
- **Causa raíz humana.** Es producto de errores humanos motivados por sus inapropiadas intervenciones. Nacen por la ausencia de decisiones acertadas, que pueden ser por convicción u omisión. Nunca utiliza nombres individuales o grupales cuando se especifica la causa.
- **Causa raíz latente.** Son productos de la deficiencia de los sistemas de información. Proviene de errores humanos. En ciertas ocasiones afectan más que el problema que se está estudiando, ya que pueden generar circunstancias que ocasionan nuevas fallas.

## **2.3 APLICACIÓN DEL RCA.**

El RCA se aplica generalmente en problemas puntuales para equipos críticos dentro de un proceso o cuando existe la presencia de fallas repetitivas, por lo tanto se recomienda cuando:

- Se requiere el análisis de las fallas crónicas (repetitivas) que se presentan continuamente, tales como fallas de equipos comunes.
- Se presentan fallas esporádicas (una vez), en proceso crítico, tales como paradas de emergencia, incendios, explosiones, muertes, lesiones importantes, o fallas graves poco frecuentes en los equipos. En la figura 9 se muestra la relación entre las fallas esporádicas y fallas crónicas.
- Es necesario un análisis del proceso de diseño de nuevos equipos, de aplicación de procedimientos operativos y de supervisión de actividades de mantenimiento.
- Son comunes aspectos operativos tales como el congestionamiento, interrupción de las operaciones, aumento del consumo de energía, corridas más largas, defectos de calidad e incidentes ambientales.

Figura 9. Fallas Esporádicas Vs Crónicas



Fuente: MORA, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo, ed. Coldi, Segunda ed. 2012, pág. 236.

- Es necesario identificar las deficiencias en los programas de entrenamiento y procedimientos operativos.
- Se tiene la necesidad de analizar diferencias organizacionales y programáticas.

Para aplicar un RCFA se debe tener una definición clara del sistema, para comprender la interrelación existente entre los diversos niveles de un proceso, lo que nos permite a la hora de realizar un estudio, considerar todos los factores, aspectos y condiciones que se están presentes en un entorno, ya que cualquiera de ellos puede generar una falla.

La metodología para implementar un sistema RCFA está definida por un procedimiento de trabajo de seis pasos.

Este proceso inicia preparando la investigación a realizar y termina con un reporte de los hallazgos.

**2.3.1 Paso1: Identificar los eventos más significativos.** En este paso se recolecta la información, se definen las fallas y se calculan las pérdidas debido a las fallas ocurridas.

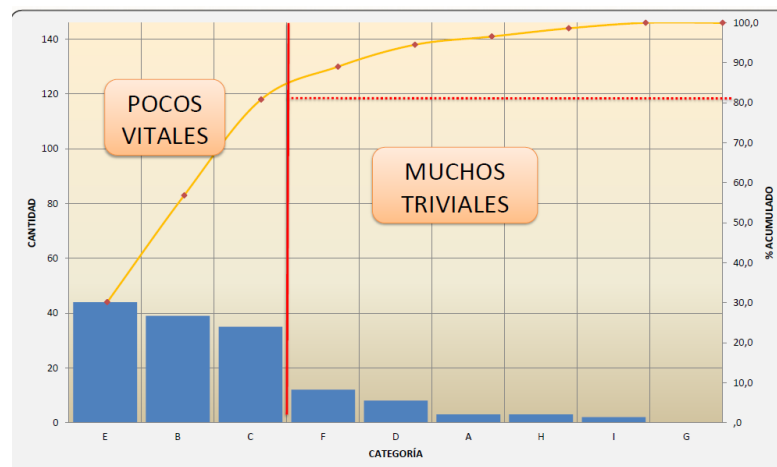
El objetivo es determinar cuáles son los eventos y fallas más importantes. Esta información se utiliza para analizar los costos de las fallas en una instalación y clasificar los problemas encontrados en orden de importancia económica.

Lo primero que se debe hacer es identificar los problemas específicos que dan el mejor retorno a la inversión. Hay dos tipos de problemas básicos: esporádicos y crónicos. Los problemas o eventos esporádicos son aquellos que causan una cantidad considerable de caos cuando aparecen, tienen ciertas características que son importantes y por la naturaleza del problema capturan la atención de todos; individualmente son los más costosos. Los problemas o eventos crónicos por otro lado, ocurren una y otra vez, y por las mismas razones aparentes. A diferencia de los eventuales, los problemas crónicos tienen alta frecuencia de ocurrencia y no

llevan mucho tiempo para corregirse. La herramienta apropiada es el análisis de Pareto.

- ❖ **Análisis de Pareto:** Herramienta avanzada genérica de mantenimiento que se emplea para identificar, jerarquizar y comparar datos, con el fin de mostrar qué elementos componen el tema que se está analizando. Éste permite, mediante una representación gráfica o tabular, conocida como diagrama de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), figura 10, identificar en una forma decreciente los aspectos que se presentan con mayor frecuencia o que tienen una ponderación o incidencia mayor.<sup>6</sup> Para mantenimiento este análisis afirma que el 80% de los costos de las fallas son causados por el 20% de las fallas totales, estas se designan como, las pocas fallas críticas, y son identificadas para los análisis de RCFA.

Figura10. Diagrama de Pareto



Fuente: GONZALES, Carlos. Seminario de investigación en metodologías de análisis de fallas. et al 2009 UIS.

<sup>6</sup> GONZALES, Carlos. Seminario de investigación en metodologías de análisis de fallas. et al 2009 UIS

**2.3.2 Paso 2: Preservar las evidencias de las fallas.** Es la parte en la que se comienza a analizar un problema específico. La recolección de datos es una parte integral del Análisis Causa Raíz. Sin la información de la falla, es virtualmente imposible descubrir las causas raíz.

La metodología de las 5 P's se ha desarrollado como un medio de ayudar al analista a recolectar los diferentes tipos de datos. Las 5 P's es una sigla para partes, posición, personas, papel y paradigmas.

- **Partes:** equipo o componente que fallo. Rodamientos tuberías, sellos, instrumentos, cables, motores, bombas, herramientas, etc.
- **Posición:** ubicación física del equipo o componente en falla. Posición física de las máquinas, de los equipos, de los instrumentos, nivel de presión, personal en la hora de la ocurrencia, información ambiental, etc.
- **Personal:** Entrevista al personal involucrado, entrevistas al personal de mantenimiento, operaciones, administración, manejo, calidad, etc.
- **Papel:** Todos los reportes escritos relacionados con la falla. Reportes de mantenimiento, políticas, planos, cuarto de control, procedimientos, especificaciones, entrenamientos, documentación del fabricante, históricos, etc.
- **paradigmas:** Frases comunes que el personal de operaciones usa para evitar investigaciones o desarrollar alguna actividad de mejora. “No tenemos tiempo para un RCFA”, “hemos tratado de resolverlo desde hace muchos años”, “es un equipo viejo y por supuesto falla”, “siempre ha funcionado así”, “esto es imposible de resolver”, etc.

**2.3.3 Paso 3: ordenar el análisis.** Es la organización del equipo de trabajo y el procedimiento. La forma convencional de formar un equipo de análisis es mediante la asignación de un grupo de personas, que deben ser expertos y tener conocimientos relacionados directamente con los problemas a analizar. El RCFA debe ser dirigido por un facilitador, quien tenga entrenamiento específico en la

metodología RCFA. El resto del equipo lo conforma un grupo multifuncional que varía entre un problema y otro.

El equipo RCFA, por lo regular, debe incluir:

- El facilitador que dirige el proceso
- Un operador familiarizado con el proceso operativo
- Un técnico de mantenimiento (en equipo mecánicos, eléctricos o de instrumentación)
- Un supervisor de primera línea.
- Un ingeniero (mecánico, eléctrico, químico, o de otra especialidad).

El facilitador no debe estar familiarizado con el evento que se está analizando. Lo único en lo que el analista principal debe ser un experto es en facilitar el análisis. Además, debe ser un individuo tenaz. Los facilitadores exitosos son siempre aquellos que facilitan el RCFA, sin ser dominantes y sin permitir parar el proceso.

En ocasiones el equipo debe incluir especialistas tales como inspectores, especialista de proceso, especialista de equipos rotativos, o proveedores. A menudo es necesario involucrar a los niveles altos y medios de la administración.

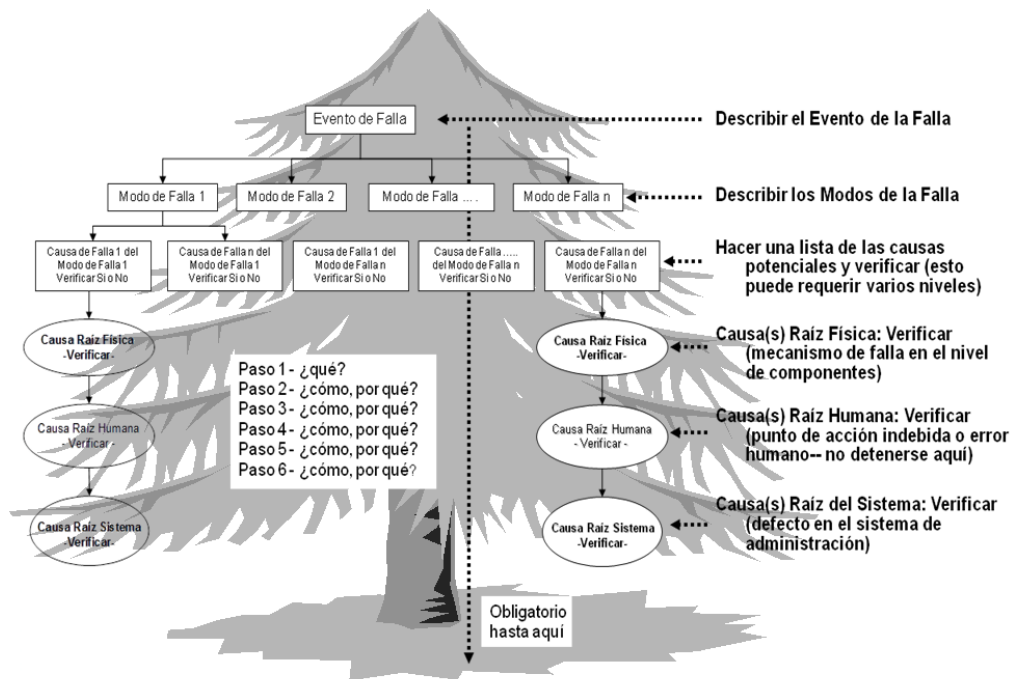
**2.3.4 Paso 4 construir el árbol lógico de fallas.** El análisis debe continuar con la construcción estructurada del árbol lógico de fallas con niveles de causa y efecto. El árbol lógico trata estrictamente con datos reales y utiliza la lógica deductiva para trabajar sistemáticamente a través del problema, para llegar a la causa raíz real. El proceso para la creación de un árbol lógico de fallas se ilustra en la figura 11.

Los pasos para construir un “árbol lógico de fallas” en la aplicación de un proceso RCFA, son:

- Describir el evento de falla
- Describir los modos de falla

- Hacer una lista de las causas potenciales de falla y verificarlas
- Determinar y verificar las causas raíz físicas
- Determinar y verificar las causas raíz humanas
- Determinar y verificar las causas raíz del sistema (latentes).

Figura 11. Proceso Lógico del RCA en análisis de Fallas



Fuente: MORA, Alberto. Mantenimiento Industrial efectivo, ed. coldi, Segunda ed. 2012, pág. 243

Los dos primeros niveles del árbol lógico consideran todos los “hechos conocidos” del programa a analizar. Estos dos niveles conforman la Caja Superior y representan la definición de la falla. El primer nivel es la declaración del evento, la razón por la que se está analizando el problema. El segundo nivel representa los modos del problema. Se pueden analizar los modos de falla como las causas aparentes del evento. En el tercer nivel se procede a hipotetizar “como” pudo

haber ocurrido. La clave es ser amplio e incluir todo lo posible en las hipótesis. La idea es agrupar las razones (o causas) en categorías generales. En esencia, el árbol lógico debe ir de lo general a lo específico, aplicar la lógica deductiva.

El siguiente paso, el más crítico, es la verificación de las hipótesis. Se debe verificar cada hipótesis. Se debe verificar cada hipótesis para ver cuál es verdadera y cuáles no son, la verificación de las hipótesis de la confianza necesaria para llegar a las causas raíz correcta. Este proceso de lógica deductiva y verificación se retira una y otra vez hasta que todas las raíces se determinan acertadamente.

**2.3.5 Paso 5: comunicar los resultados y las recomendaciones.** El análisis de fallas y la verificación de las causas raíces, determinan las causa raíz físicas, humanas y del sistema, para cualquier tipo de falla. Comunicar los resultados es el paso esencial para documentar los hallazgos en las investigaciones de RCFA y las recomendaciones asociadas. Estos hallazgos se deben analizar con el personal apropiado y pueden requerir de reuniones con la alta gerencia.

Para que el analista tenga éxito comunicando sus resultados y haciendo recomendaciones a la administración sobre causas identificadas, primero debe darse cuenta de la posición de la administración con respecto al resultado del análisis. La administración debe ser conciente de la responsabilidad financiera de la empresa.

Un informe formal por lo general ayuda a obtener el compromiso de la gerencia para resolver las fallas centrándose en las causas raíz determinadas en la investigación. El costo de implementar los resultados se debe comparar con el costo de las fallas. Se debe tener en cuenta que las causas raíz identificadas no son negociables. Sin embargo, las recomendaciones pueden ser diseñadas para cumplir los criterios de aceptación preestablecidos.

Se debe de tener en cuenta que una de las metas principales de confiabilidad operacional es incorporar el RCFA como una parte de la cultura organizacional. Esto facilitaría el análisis y la deducción lógica del porqué de los problemas. Para lograr el apoyo masivo de la organización en el proceso, se requiere que participe tanta gente como sea posible y que sean reconocidas ampliamente sus contribuciones.

**2.3.6 Paso 6: hacer seguimiento a los resultados.** Parte de la responsabilidad que asume el facilitador del sistema, es analizar la implementación de las recomendaciones y realizar el seguimiento de su ejecución. Los resultados pueden ser comparados y medidos mediante la reducción en los costos de mantenimiento, el mejoramiento en las tasas de producción, la reducción de las tasas de falla, etc.

El RCFA sería una actividad sin valor agregado si no se actúa sobre las recomendaciones y las soluciones no son implementadas en el tiempo establecido. Después de todo, es demasiado frustrante dar recomendaciones para la solución de problemas, asignar responsabilidades para la implementación, y establecer un plan de actividades para su realización, y aun así no ver el fruto de sus esfuerzos. Por lo tanto, es primordial que se tome el control de las operaciones en vez de permitir que las operaciones tomen el control de la organización. Para poder obtener los recursos necesarios para dedicar al trabajo futuro, sea trabajo de mejora, corrección o rediseño se debe analizar los problemas hasta la causa raíz y actuar de acuerdo con sus resultados.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> GARCIA, Oliverio. El Análisis Causa Raíz, Estrategia de Confiabilidad Operacional, Conferencia y exhibición Reliability Word Latín América. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2005, pág. 11

## 2.4 INDICADORES DE GESTION DE MANTENIMIENTO

Son parámetros numéricos que convenientemente utilizados pueden ofrecer una oportunidad de mejora continua en el desarrollo, aplicación de nuestros métodos y técnicas específicas de mantenimiento. La magnitud de los indicadores sirve para comparar con un valor o nivel de referencia con el fin de adoptar acciones correctivas, modificativas, predictivas según sea el caso.

La confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas, fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos, que tiene el mantenimiento para su análisis.<sup>8</sup>

**2.4.1 Disponibilidad.** La disponibilidad de un equipo es el tiempo durante el cual el equipo está operando satisfactoriamente, mas el tiempo que estando en receso, puede trabajar sin contratiempos durante un periodo.

El objetivo más importante del mantenimiento científico es lograr la máxima disponibilidad de todos los equipos.

La disponibilidad se define en términos matemáticos, mediante el índice de disponibilidad a lo largo de un periodo de tiempo dado.<sup>9</sup>

Se debe decidir la disponibilidad más adecuada acorde a los datos que se posean y a las expectativas de la empresa, acorde a los elementos que desea controlar, todas difieren y prestan diferentes servicios.<sup>10</sup> En la figura 12 se muestran los diferentes tipos de disponibilidad.

**2.4.2 Confiabilidad.** La medida de la confiabilidad de un equipo, es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas el equipo es 100% confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja la confiabilidad del equipo es aun aceptable; pero si la frecuencia de fallas es muy alta, el equipo es poco confiable.

---

<sup>8</sup> <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/828/3/CAPITULO%203.pdf>

<sup>9</sup> Borrás Pinilla, Carlos. Principios de Mantenimiento, pág. 143

<sup>10</sup> MORA, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo, ed. Coldi, Segunda ed. 2012, pág. 64

Un equipo con un muy buen diseño, con excelente montaje, con adecuadas pruebas de trabajo en campo y con un apropiado mantenimiento, no debe fallar nunca (en teoría); sin embargo, la experiencia demuestra que incluso los equipos con mejores: diseños, montajes y mantenimiento; fallan alguna vez (Bazovsky, 2004).

Figura 12. Tipos de Disponibilidad

<b>Disponibilidad factible de calcular o deseada de utilizar</b>				
<b>Genérica</b>	<b>Inherente o Intrínseca</b>	<b>Alcanzada</b>	<b>Operacional</b>	<b>Operacional Generalizada</b>
<p>Es útil cuando no se tienen desglosados los tiempos de reparaciones o de mantenimientos planeados; o cuando no se mide con exactitud ni los tiempos logísticos, ni administrativos ni los tiempos de demoras por repuestos o recursos humanos que afecten el DT.</p> <p>No asume que los UT sean altos y los DT bajos. Es útil al iniciar procesos CMD, engloba todas las causas.</p> <p>Debe usarse entre 2 y n eventos.</p>	<p>Considera que la no funcionalidad del equipo es inherente no más al tiempo activo de reparación.</p> <p>No incluye los tiempos logísticos, ni los tiempos administrativos ni los tiempos de demora en suministros. Asume idealmente que todo está listo al momento de realizar la reparación.</p> <p>Se debe cumplir que los UT sean muy superiores en tiempo a los MTTR (al menos unas 8 o más veces) y que DT tienda a cero en el tiempo.</p>	<p>Tiene en cuenta tanto las reparaciones correctivas, como los tiempos invertidos en mantenimientos planeados (preventivo y/o predictivos); no incluye los tiempos logísticos, ni los tiempos administrativos, mora en suministros.</p> <p>Los mantenimientos planeados pueden disminuir la disponibilidad alcanzada al realizarlos muy frecuentemente, aún cuando puede incrementar el MTBM.</p>	<p>Comprende a efectos de la no funcionalidad el tener en cuenta: los tiempos activos de reparación correctiva, los tiempos de mantenimientos planeados (preventivos o predictivos), los tiempos logísticos (preparación, suministros de repuestos o recursos humanos) y tiempos administrativos, las demoras, etc.</p> <p>Es útil cuando existen equipos en espera para mantenimiento.</p>	<p>Se sugiere cuando los equipos no operan en forma continua, o en los eventos en que el equipo está disponible pero no produce.</p> <p>Es necesaria cuando se requiere explicar los tiempos no operativos exentos ya de: los de los cálculos de mantenimientos planeados o reparaciones imprevistas, como del detalle logístico o demora del MTTR.</p> <p>Se usa cuando las máquinas están listas (<i>ready time</i>), es decir operan en vacío.</p>

Fuente: MORA, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo, ed. Coldi, Segunda ed. 2012, pág. 6

Donde

MTBM: Tiempo Medio entre Mantenimientos

MTTR: Tiempo neto medio para realizar reparaciones

La confiabilidad está estrechamente relacionada con la calidad de un producto y es con frecuencia considerada un componente de esta. La confiabilidad se interesa por cuánto tiempo el producto continua en funcionamiento, después de entrar en operación. Una baja calidad del producto implica una disminución de

su confiabilidad, de la misma manera que una calidad alta implica una confiabilidad elevada.<sup>11</sup>

**2.4.3 Mantenibilidad.** La mantenibilidad de un equipo es la probabilidad de que un equipo pueda ser puesto en condiciones operacionales en un periodo de tiempo dado, cuando el mantenimiento es efectuado de acuerdo con unos procedimientos preestablecidos. Significa también la probabilidad de que un equipo que ha fallado, pueda ser reparado en un periodo de tiempo dado no es otro que el tiempo promedio para reparar (TPPR).<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup> MORA, Alberto. mantenimiento industrial efectivo, ed. coldi, Segunda ed. 2012, pág. 79

<sup>12</sup> Borrás Pinilla, Carlos. Principios de Mantenimiento, pág. 154

### 3. ANALISIS DE DATOS SOBRE FALLAS EN MOTOSOLDADORES

#### 3.1. MOTOSOLDADORES

Los equipos de soldadura son muy utilizados en nuestros días en aplicaciones industriales que requieran unión de metales para sus tareas operacionales.

El motosoldador es una maquina de soldar que no requiere de energía eléctrica ya que trae su propio generador, trabaja con un motor de combustión interna alimentado ya sea por gasolina o diesel; esta máquina transforma energía mecánica en energía eléctrica, la cual es necesaria para el proceso de soldadura, además el motosoldador cuenta con salidas de corriente alterna útiles para conectar herramientas menores como pulidoras y motortool. La soldadura por electrodo se basa en el principio de la corriente constante, esto es, la corriente distribuida por el motosoldador no debe cambiar cuando el operador mueve el electrodo de la pieza.

En el contrato de “Reconstrucción y Soldadura de Componentes Mineros” se utilizan 17 motosoldadores de referencia BIG BLUE 600X, como los mostrados en la figura 13.

Figura13. Motosoldador BIG BLUE 600X



Fuente: [www.millerwelds.com](http://www.millerwelds.com)

Los motosoldadores se fabrican en diversos tamaños y diseños para satisfacer las necesidades y exigencias de las diferentes aplicaciones industriales, comerciales y domesticas.

Las especificaciones técnicas se muestran a continuación en la figura 14.

Figura14. Especificaciones Técnicas Motosoldador Big Blue 600X

Especificaciones de Big Blue 500 X y 600 X CC (Sujetas a cambio sin aviso previo.)						CC	DC
Modelo	Modo soldadura	Rango de salida de soldadura	Salida nominal de la soldadora a 104°F (40°C)	Voltaje máx. a circuito abierto	Potencia nominal de salida del generador a 104°F (40°C)	Dimensiones**	
Big Blue 500 X CC	CC/CD	55 – 500 A	400 A a 36 V (14,4 kW),* 100% Ciclo de Trabajo 450 A a 38 V (17,1 kW),* 60% Ciclo de Trabajo 500 A a 30 V (15 kW), 40% Ciclo de Trabajo	95	Pico: 5500 watts Continuos: 4000 watts, 34/17 A, 120/240 VCA, 50/60 Hz. durante la soldadura	Altura: 43 pulgs. (1092 mm.)	Perkins 404D.22: 1545 lbs. (701 kg.) Deutz D2011L03i: 1655 lbs. (751 kg.)
Big Blue 600 X CC		65 – 600 A	500 A a 40 V (20 kW),* 100% Ciclo de Trabajo 550 A a 34 V (18,7 kW), 60% Ciclo de Trabajo 600 A a 30 V (18 kW), 40% Ciclo de Trabajo			Ancho: 28-1/2 pulgs. (724 mm.) Prof.: 64-7/16 pulgs. (1637 mm.)	

Fuente: [www.millerwelds.com](http://www.millerwelds.com)

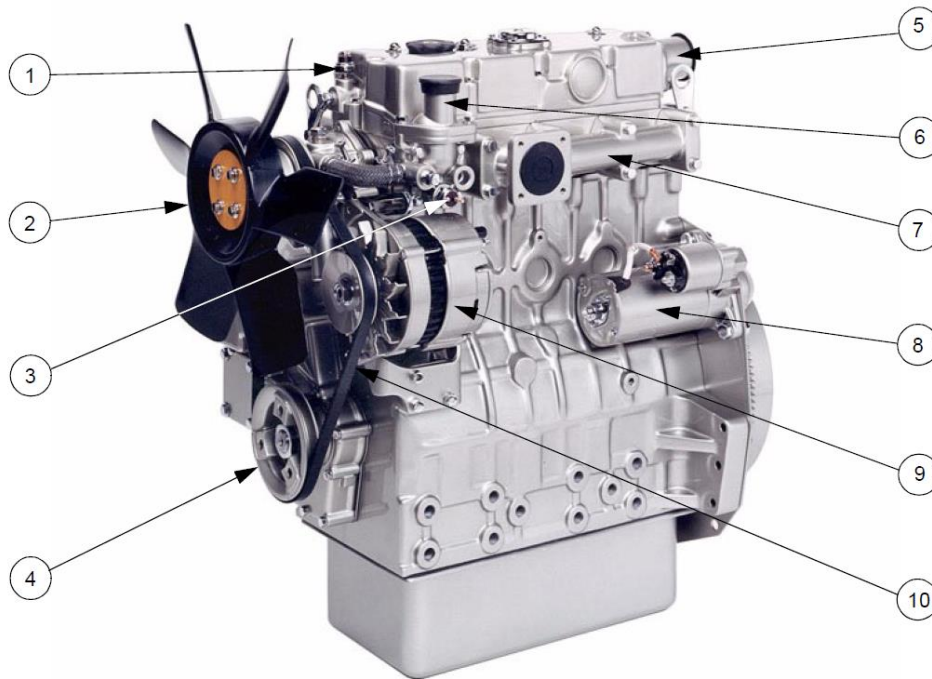
Esta clase de motosoldador está diseñado para afrontar climas adversos y condiciones de trabajo exigentes.

Antes de iniciar con el análisis de información de la fallas, se señalan a continuación el grupo de sistemas que funcionan conjuntamente para suministrar una salida o producto para este caso la aplicación de la soldadura.

**3.1.1 Motor.** Un motor de combustión interna es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de la cámara de combustión.<sup>13</sup> En nuestro caso el motosoldador Miller 600X tiene un motor Perkins 404D, como el mostrado en las figuras 15 y 16.

<sup>13</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_combusti%C3%B3n\\_interna](http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna)

Figura15, Motor PERKINS 404D, lado izquierdo

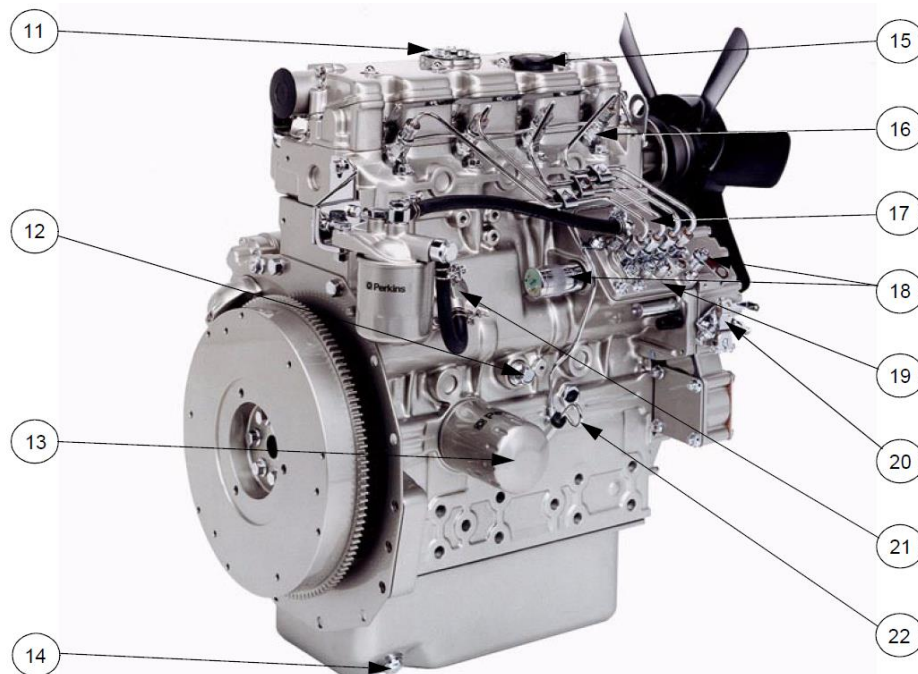


Fuente, Manual del Usuario, Perkins serie 400

En la figura 15 se observan las siguientes partes:

- 1) Interruptor de presión del aceite.
- 2) Ventilador
- 3) Interruptor de refrigerante
- 4) Polea del Cigüeñal
- 5) Colector de admisión.
- 6) Salida de Refrigerante
- 7) Colector de Escape.
- 8) Motor de arranque.
- 9) Alternador.
- 10) Correa de la distribución.

Figura16, Motor PERKINS 404D, lado derecho



Fuente, Manual del Usuario, Perkins serie 400

En la figura16, se observa las siguientes partes:

- 11) Respiradero del motor.
- 12) Tapón de drenaje del refrigerante.
- 13) Filtro de aceite.
- 14) Tapón de drenaje del aceite.
- 15) Tapa de aceite.
- 16) Inyector
- 17) Etiqueta de identificación del motor.
- 18) Mando de parada mecánica.
- 19) Bomba de inyección
- 20) Palanca de control de Régimen
- 21) Bomba de alimentación de combustible
- 22) Varilla medidora de aceite.

El motor presenta los siguientes subsistemas:

❖ **Sistema de Refrigeración:** conformado por

- Radiador
- Tanque de expansión
- Mangueras
- Bomba de agua
- Termostato
- Ventilador
- Correas

❖ **Sistema de Combustible:** Conformado por

- Bomba de inyección
- Inyectores
- Filtros de combustible
- Tanque de combustible
- Conductos

**3.1.2 Sistema Eléctrico:** Conjunto de elementos encargados de conducir la energía eléctrica o de transformarla.

- Batería
- Motor de arranque
- Alternador
- Conductores (cables, uniones)

- Generador
- Diodos Rectificadores
- Colector
- Relés
- Escobillas
- Tomas (110, 220 V)
- Fusibles

### **3.1.3 Sistemas de Control:** Conformado por

- Tablero de control
- Sensores (Temperatura, presión)
- Modulo Electrónico
- Filtros electrónicos
- Arnés Electrónico

### **3.1.4 Tráiler:** Conformado por

- Bastidor
- Guardabarros
- Enganche
- Muelle
- Eje
- Bocín

- Rodaje.

### 3.2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para el análisis de información sobre las fallas en los motosoldadores del contrato “Reconstrucción y Soldadura de Componentes y Equipos Mineros” en Cerrejón, se utilizó la información registrada en las ordenes de trabajo, concretamente los mantenimientos correctivos; estas órdenes se encuentran almacenadas de manera física en el departamento de mantenimiento.

Las especificaciones de los datos tomados se observan en la tabla 1:

Tabla 1. Tipos de datos recolectados

ITEM	DESCRIPCION
Equipo	Identificación interna del equipo
Modo de Falla	Forma o manera genérica como se produce la falla.
Horometro	Indica el tiempo durante el cual el equipo ha estado en operación.
Fecha	Día, mes, año en que ocurrió el evento
Tiempo	Tiempo empleado para el mantenimiento no programado.

Fuente: Autores

En la tabla 2, se muestra la forma como se recolectaron los datos de las paradas correctivas en los diferentes motosoldadores; la muestra se tomó desde Junio de 2011 a Julio de 2013.

Tabla 2. Información recolectada de fallas en motosoldadores

ITEM	N° MOTOSOLDADOR	FALLA	HOROMETRO	FECHA	TIEMPO, DIAS
1	1	BASE TRANSFORMADOR PARTIDA	700	15/06/2011	2
2	1	BASE TRANSFORMADOR PARTIDA	1100	18/08/2011	2
3	1	NO REGULA AMPERAJE	1754	13/03/2012	2
4	1	NO HACE ARCO	1767	03/04/2012	2
5	1	NO ENCIENDE, ARRANQUE	1939	19/08/2012	2
6	1	NO ENCIENDE, ARRANQUE	2050	07/12/2012	2
7	1	NO REGULA AMPERAJE	2113	05/02/2013	2
8	1	ESTATOR Y LINEA DE 110 V QUEMADOS	2200	16/01/2013	30
9	2	BASE TRANSFORMADOR PARTIDA	376	07/10/2011	2
10	2	BASE TRANSFORMADOR PARTIDA	835	22/07/2012	4

11	2	ESTATOR Y LINEA DE 110 V QUEMADOS	1461	01/11/2012	28
12	3	BASE TRANSFORMADOR PARTIDA	1200	21/07/2011	2
13	3	GRIETAS EN TRAILER	1330	20/08/2011	2
14	3	DAÑO EN MOTOR, VOLCAMIENTO	2203	22/09/2011	2
15	4	RADIADOR ROTO	2230	12/06/2011	5
16	4	GRIETAS EN TRAILER	2700	01/10/2011	3
17	4	GATO DE SOSTENIMIENTO TRAILER DAÑADO	2900	01/12/2011	2
18	4	HOROMETRO DAÑADO	3058	14/03/2012	2
19	4	GATO DE SOSTENIMIENTO TRAILER DAÑADO	3333	10/06/2012	3
20	4	ESTATOR Y LINEA DE 110 V QUEMADOS	3400	10/09/2012	30
21	5	CORTO EN LINEA DE 110	1672	10/11/2011	2
22	6	BORNERA QUEMADA	5100	13/06/2011	0,5
23	6	DESPRENDIMIENTO DE RUEDA DE TRAILER	5200	10/07/2011	8
24	6	NO ENCIENDE, ARRANQUE	5500	11/08/2011	2
25	6	BATERIA DEFECTUOSA	5530	27/08/2011	0,5
26	6	SELECTOR DE AMPERAJE DAÑADO	5208	10/05/2011	8
27	6	DIODOS QUEMADOS	5208	10/05/2011	8
28	6	ESPARRAGO PARTIDO	5821	16/12/2011	0,5
29	6	BATERIA DEFECTUOSA	5957	10/01/2012	1
30	7	BASE TRANSFORMADOR PARTIDA	1441	29/09/2011	7
31	7	SELECTOR DE AMPERAJE DAÑADO	2330	24/11/2012	4
32	8	MUELLE PARTIDO	5450	16/07/2011	2
33	8	BALINERAS RUEDAS DAÑADAS	5400	30/06/2011	2
34	8	BOSIN DE EJE DAÑADO	4650	15/01/2011	2
35	8	BALINERAS RUEDAS DAÑADAS	5300	03/05/2011	2
36	8	SELECTOR DE AMPERAJE DAÑADO	5300	03/05/2011	4
37	8	NO ENCIENDE, ARRANQUE	6550	18/04/2012	1
38	8	DESPRENDIMIENTO DE RUEDA DE TRAILER	7058	10/09/2012	6
39	8	NO HACE ARCO	7058	10/09/2012	2
40	8	DIODOS QUEMADOS	7244	31/10/2012	2
41	8	DESPRENDIMIENTO DE RUEDA DE TRAILER	7473	17/01/2013	6
42	8	NO ENCIENDE, ARRANQUE	7500	25/03/2013	1
43	8	PERDIDA DE POTENCIA EN MOTOR	7535	04/04/2013	11
44	8	DESPRENDIMIENTO DE RUEDA DE TRAILER	7653	13/05/2013	6
45	8	DIODOS QUEMADOS	7833	13/05/2013	2
46	8	SELECTOR DE AMPERAJE DAÑADO	7833	04/06/2013	4
47	8	MUELLE PARTIDO	7833	04/06/2013	5
48	9	DAÑO PERILLA DE SELECTOR	6200	13/12/2012	2
49	9	NO HACE ARCO	5050	11/08/2011	2
50	9	GRIETAS EN TRAILER	5300	24/10/2011	5
51	9	NO ENCIENDE, ARRANQUE	4960	10/07/2011	2
52	9	DESPRENDIMIENTO DE RUEDA DE TRAILER	4960	10/07/2011	8
53	9	BATERIA DEFECTUOSA	5211	21/10/2011	2
54	9	BALINERAS RUEDAS DAÑADAS	5211	21/10/2011	2
55	9	DESPRENDIMIENTO DE RUEDA DE TRAILER	5996	15/05/2012	5
56	9	MUELLE PARTIDO	5996	15/05/2012	6
57	9	ESPARRAGO PARTIDO	7430	25/06/2013	2
58	9	MUELLE PARTIDO	7502	10/07/2013	4
59	10	INDICADOR DE COMBUSTIBLE NO FUNCIONA	1960	13/06/2011	2
60	10	ESPARRAGO PARTIDO	2100	08/07/2011	2
61	10	GATO DE SOSTENIMIENTO TRAILER DAÑADO	2267	11/08/2011	2
62	10	BALINERAS RUEDAS DAÑADAS	2800	20/08/2012	2
63	10	BATERIA DEFECTUOSA	3433	14/03/2013	0,25
64	11	GRIETAS EN TRAILER	4900	09/06/2011	1

65	11	NO ENCIENDE, ARRANQUE	5200	22/08/2011	2
66	11	RADIADOR ROTO	5600	13/10/2011	7
67	11	BATERIA DEFECTUOSA	5800	06/12/2011	2
68	11	DIODOS QUEMADOS	6382	08/05/2012	6
69	11	NO ENCIENDE, ARRANQUE	6382	08/05/2012	2
70	11	BATERIA DEFECTUOSA	6382	08/05/2012	2
71	11	BORNERA QUEMADA	7255	05/02/2013	0,29
72	12	ESTATOR Y LINEA DE 110 V QUEMADOS	1300	16/07/2011	34
73	13	BASE TRANSFORMADOR PARTIDA	5600	30/06/2011	3
74	13	NO ENCIENDE, ARRANQUE	5877	31/08/2011	1
75	13	ESPARRAGO PARTIDO	5877	31/08/2011	1
76	13	BALINERAS RUEDAS DAÑADAS	6050	02/01/2013	2
77	13	PERDIDA DE POTENCIA EN MOTOR	6300	03/03/2013	35
78	14	NO HACE ARCO	4200	24/07/2011	1
79	14	CARBONES DESGASTADOS	4534	30/11/2011	2
80	14	BATERIA DEFECTUOSA	5463	06/09/2012	2
81	14	SWITCH SELECTOR DE PROCESO DAÑADO	6090	19/05/2013	5
82	15	NO ENCIENDE, ARRANQUE	3611	27/06/2011	2
83	15	GRIETAS EN TRAILER	3630	31/07/2011	4
84	15	NO HACE ARCO	3992	20/03/2012	2
85	15	DAÑO EN CERRADURA	5003	21/07/2013	2
86	16	SWITCH SELECTOR DE PROCESO DAÑADO	4310	18/06/2011	6
87	16	BALINERAS RUEDAS DAÑADAS	4532	19/08/2011	2
88	16	DAÑO BOCIN DELANTERO	4800	25/10/2011	2
89	16	MUELLE PARTIDO	5000	13/12/2011	4
90	16	DESRENDIMIENTO DE RUEDA DE TRAILER	5302	17/04/2012	12
91	16	EXOSTO ROTO	5500	14/06/2012	2
92	16	RIN DAÑADO	6100	02/01/2013	2
93	16	BATERIA DEFECTUOSA	6300	13/03/2013	2
94	16	BALINERAS RUEDAS DAÑADAS	6650	06/06/2013	2
95	17	BORNERA QUEMADA	600	16/10/2011	2
96	17	BATERIA DEFECTUOSA	1500	06/01/2012	2
97	17	BORNERA QUEMADA	3707	27/04/2013	2
98	17	MUELLE PARTIDO	3800	08/05/2013	4
99	17	SELECTOR DE AMPERAJE DAÑADO	4010	16/06/2013	6
				TOTAL	445,04

Fuente: autores

Posteriormente se organizo la información con la lista de fallas y el tiempo acumulado en cada una de ellas, como se muestra en la tabla 3.

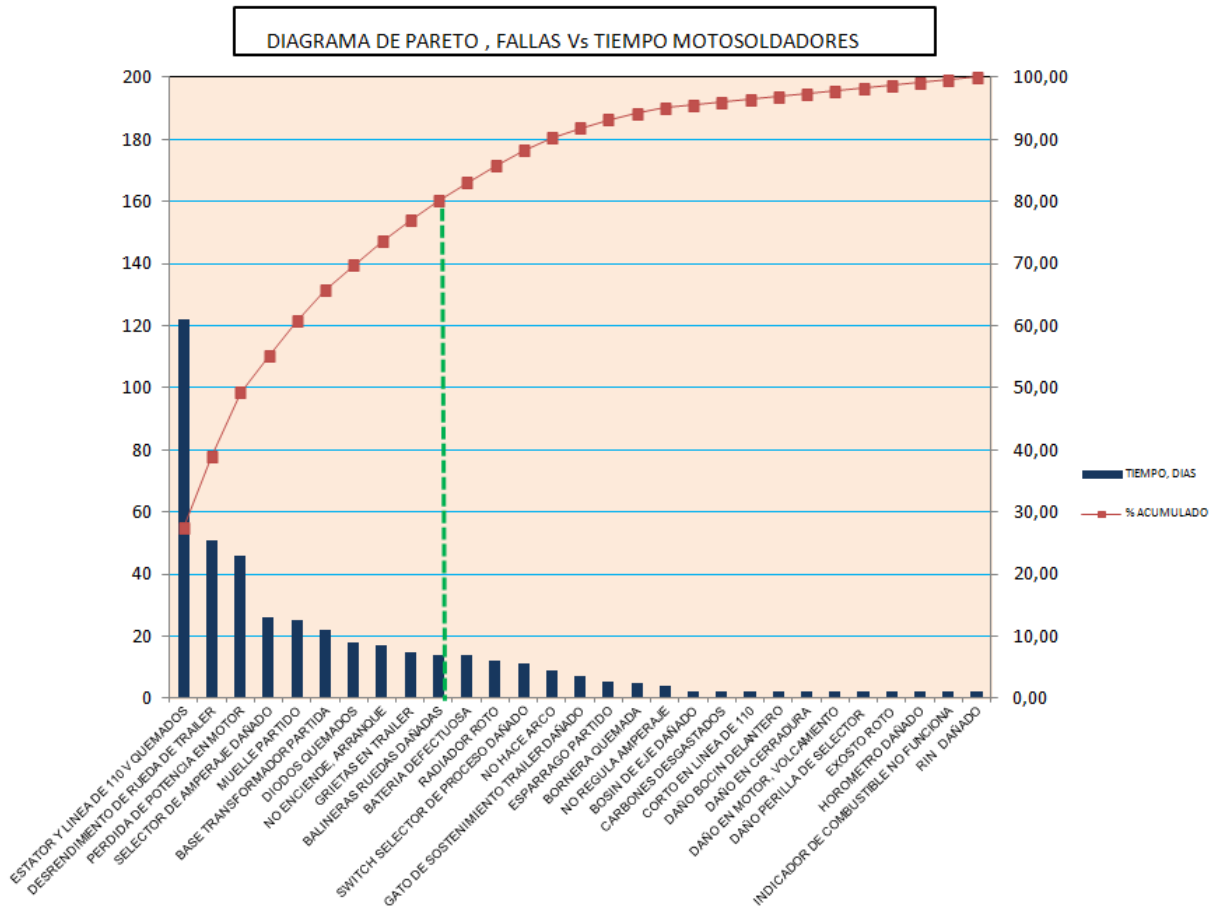
Tabla 3. Fallas y Tiempo de duración.

ITEM	FALLAS	TIEMPO, días
1	ESTATOR Y LINEA DE 110 V QUEMADOS	122
2	DESRENDIMIENTO DE RUEDA DE TRAILER	51
3	PERDIDA DE POTENCIA EN MOTOR	46
4	SELECTOR DE AMPERAJE DAÑADO	26
5	MUELLE PARTIDO	25
6	BASE TRANSFORMADOR PARTIDA	22
7	DIODOS QUEMADOS	18
8	NO ENCIENDE, ARRANQUE	17
9	GRIETAS EN TRAILER	15
10	BALINERAS RUEDAS DAÑADAS	14
11	BATERIA DEFECTUOSA	13,75
12	RADIADOR ROTO	12
13	SWITCH SELECTOR DE PROCESO DAÑADO	11
14	NO HACE ARCO	9
15	GATO DE SOSTENIMIENTO TRAILER DAÑADO	7
16	ESPARRAGO PARTIDO	5,5
17	BORNERA QUEMADA	4,79
18	NO REGULA AMPERAJE	4
19	BOSIN DE EJE DAÑADO	2
20	CARBONES DESGASTADOS	2
21	CORTO EN LINEA DE 110	2
22	DAÑO BOCIN DELANTERO	2
23	DAÑO EN CERRADURA	2
24	DAÑO EN MOTOR, VOLCAMIENTO	2
25	DAÑO PERILLA DE SELECTOR	2
26	EXOSTO ROTO	2
27	HOROMETRO DAÑADO	2
28	INDICADOR DE COMBUSTIBLE NO FUNCIONA	2
29	RIN DAÑADO	2
	<b>TOTAL</b>	<b>445,04</b>

Fuente: Autores

Luego se realizo el diagrama de Pareto, figura 17, con el cual se identifica el 20% de las fallas que causaron el 80% de pérdida de tiempo.

Figura 17. Grafico de Pareto



Fuente: Autores

En el eje axial se muestran las fallas y en el eje vertical el tiempo en días de las paradas correctivo.

#### 4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Este capítulo tiene como propósito fundamental mostrar el proceso de aplicación de la metodología RCA a las principales fallas en motosoldadores durante Junio de 2011 en Julio de 2013; se busca encontrar las verdaderas causas de los problemas y sugerir acciones mejorativas que conduzcan a soluciones definitivas. Los eventos se clasifican de acuerdo a su impacto real o potencial, y la frecuencia de exposición de donde se obtiene el análisis a realizar así:

- Nivel 1 (potencial bajo): Requieren el completo diligenciamiento del reporte del evento por parte del usuario.
- Nivel 2 (Potencial medio): Requieren la creación de un equipo RCA local, pertenecientes al equipo del proceso donde se genero el evento.
- Nivel 3 (Potencial Alto): Debido a su especial importancia requieren la conformación de un equipo RCA formal.

En la figura 18 se puede observar una matriz de priorización de recomendaciones de RCA.

Figura 18. Matriz de decisión de RCA

Matriz de priorización de recomendaciones de RCA										
CONSECUENCIA DEL Evento						FRECUENCIA DE EXPOSICION A LA TAREA				
Protección personas	Accidentes de Personas	Ambiental	Activos	Perdidas en % producción	Desviación % Indicadores de Desempeño	1 vez cada 5 años	1 vez cada 3 años	1 vez al año	1 vez cada 3 meses	1 vez o mas al mes
Hurto	Primeros Auxilios	Fuga Leve: < 1bl	< US\$ 20.000	< 1 %	< 10 %	1	1	1	1	1
Intimidación	Tratamiento Medico, Trabajo Restringido, Incapacidad < 3 Dias	Fuga menor: 1 - 7 Bls	US\$ 20.000 a US\$ 50.000	1 - 3 %	10 - 15 %	1	1	1	2	2
Extorsión	Incapacidad > 3 Dias	Fuga Localizada: 7 - 70 Bls	\$ 50.000 a US\$ 500.000	3 - 7 %	16 - 20 %	1	2	2	2	2
Secuestro - Fatalidad	Incapacidad Parcial / Total, Permanente	Fuga Mayor: 70 - 700 Bls	\$ 500.000 a US\$ 500.000	7 - 10 %	20 - 25 %	2	2	2	3	3
Fatalidad	Fatalidad	Fuga extensa: > 700 Bls	> US\$ 500.000	> 10 %	> 25 %	3	3	3	3	3

Convenciones : Nivel 1: ■ Nivel 2: ■ Nivel 3: ■

Fuente: RCA Management Software, Tutorial

Las fallas escogidas para el análisis se encuentran en nivel 2 de acuerdo a su impacto potencial en la categoría de pérdidas de % de producción y desviación de % en indicadores de desempeño. El equipo RCA es muy importante a la hora de analizar las fallas, para el caso de los motosoldadores se trabajo con un grupo RCA integrados por las siguientes personas:

- **Un facilitador:** Integrante del equipo entrenado en la aplicación de la metodología RCA y encargados de explicar detalladamente los pasos a seguir por el equipo.
- **Dos técnicos:** Encargados de brindar información acerca del armado y funcionamiento de las diferentes partes que componen el equipo motosoldador.
- **Un Ingeniero Mecánico:** Familiarizado con las labores de mantenimiento y montajes.

En el anexo A se encuentra la documentación que verifica la autenticidad de los integrantes del equipo RCA.

Según el grafico de Pareto las fallas más relevantes son las siguientes:

- ✓ Estator y línea de 110 v quemados.
- ✓ Desprendimiento de Rueda de Tráiler
- ✓ Pérdida de potencia en motor de motosoldador
- ✓ Grietas en tráiler de Motosoldador
- ✓ Selector de amperaje dañado
- ✓ Muelles partidos
- ✓ Diodos quemados

- ✓ No enciende, arranque
- ✓ Balineras ruedas dañadas

#### **4.1. ANÁLISIS DE FALLA A “ESTATOR Y LÍNEA DE 110V QUEMADOS”**

La falla con más tiempo invertido de horas correctivas fue corto en línea de 110v con estator quemado.

Se han presentado 4 de estas fallas con un total de 122 días invertidos, la última de ellas fue en el motosoldador No. 1 el 16 de enero de 2013.

El problema ocurrió en uno de los motosoldadores con los que se presta el servicio de soldadura los taladros de la mina Cerrejón.

El motosoldador está ubicado sobre un vehículo NPR, y en el toma de 110v se encontraba conectado un horno. Utilizado para el calentamiento de soldadura, como el de la figura 19.

Figura 19. Hornos de Soldadura



Fuente, [www.industriasovelma.com](http://www.industriasovelma.com)

El técnico soldador indica que observo un corto circuito en el toma de 110 Voltios del motosoldador y lo llevo al taller de mantenimiento. El personal de mantenimiento destapa el motosoldador encontrando las líneas de 110v quemadas, así como el breaker de protección y daños serios en el estator, en la figura 20 se muestra el motosoldador que sufrió el daño.

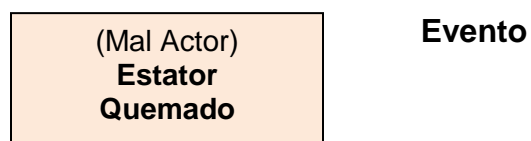
Figura 20, Motosoldador que sufrió la falla.



Fuente: Autores

**4.1.1. Construcción del árbol lógico de fallas.** El primer nivel es la declaración del evento, figura 21, para nuestro caso: Estator Quemado.

Figura 21. Primer paso para la construcción del árbol lógico de fallas



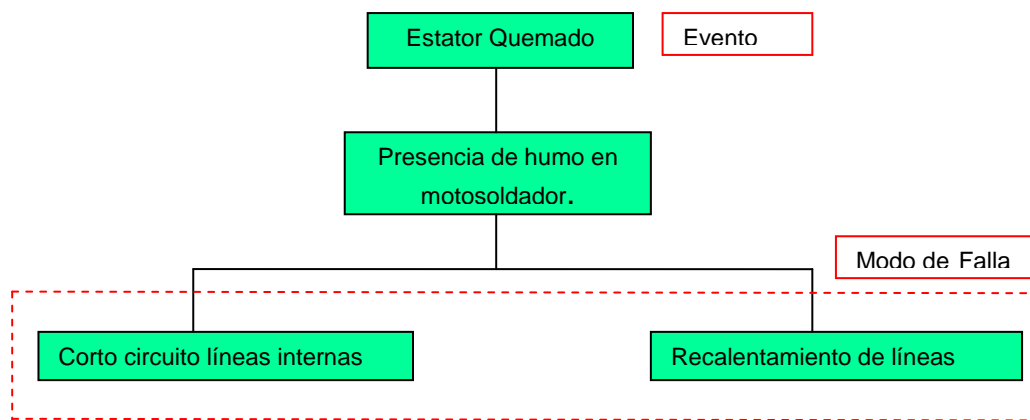
Fuente: Autores

El primer indicio que muestra que algo grave está sucediendo con el motosoldador es la presencia de humo, esta es la primera forma de percibir la falla.

Las hipótesis planteadas para los modos de falla, figura 22, fueron las siguientes:

- \* Corto Circuito en líneas de 110v
- \* Recalentamiento de líneas

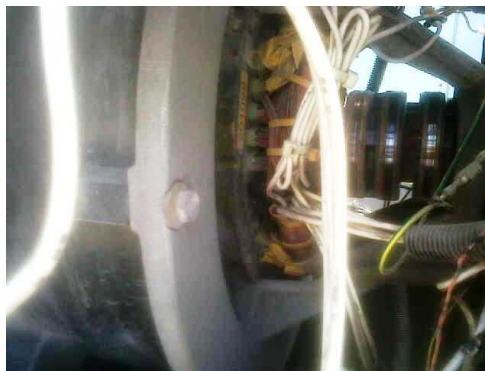
Figura 22. Modos de Falla



Fuente: autores

En las figuras 23 y 24 se observa la evidencia del quemón que sufre el estator y las líneas de 110v quemados, las hipótesis son validadas por observación visual.

Figura 23. Estator quemado



Fuente: Autores

Figura 24. Líneas de estator quemadas



Fuente: Autores

El corto circuito pudo originarse por:

- Falla en herramienta conectada
- Falla en sistema de protección

En el momento de la falla estaba conectado un horno empleado para calentamiento de la soldadura, este fue llevado a revisión encontrando unión de cables (+) y (-) dentro de la clavija de conexión, por consiguiente esta hipótesis es validada.

Esta falla pudo ser originada por falta de inspección y mantenimiento o mala manipulación de los cables al momento de desconectar el horno. Ya que si no se toma por la clavija sino por el cable puede causar el desprendimiento interno de los cables.

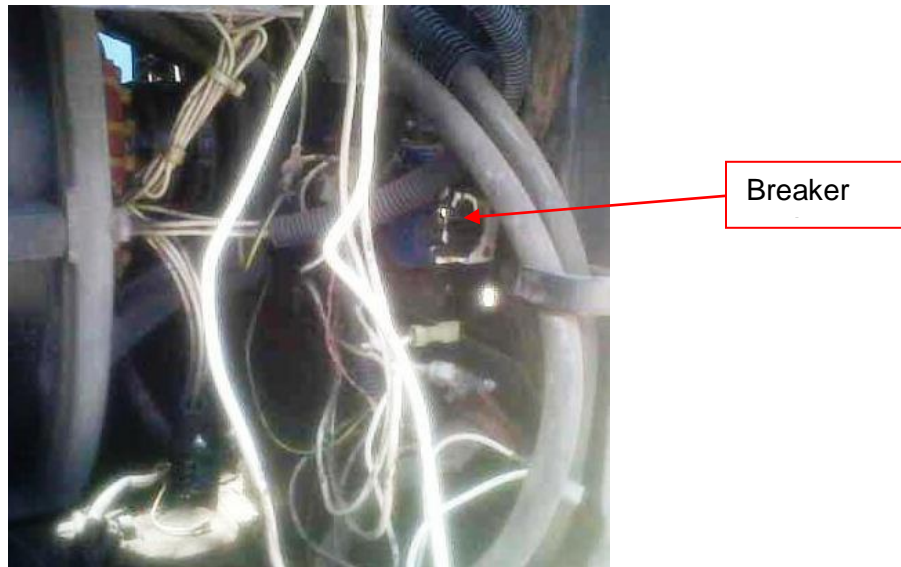
Se reviso el historial de inspecciones encontrando que ese horno si se había inspeccionado el 27 de Diciembre, las revisiones son hechas los últimos cinco días del mes y los primeros cinco primeros días del mes en curso.

Como se observa en la figura 25 el breaker de protección de 20A también fue quemado, es decir que no cumplió su función, además el equipo no cuenta con el toma GFCI con el cual viene de fabrica. Para la falla en el sistema de protección

El toma GFCI cuenta con un sistema que al detectar un problema con tierra se dispara dejando inoperante el receptáculo.

El recalentamiento de las líneas pudo originarse por sobrecarga de las mismas, según datos del fabricante estas líneas son diseñadas para una carga de 20A, el horno que estaba conectado consume 1A, por consiguiente no hubo sobrecarga de las líneas.

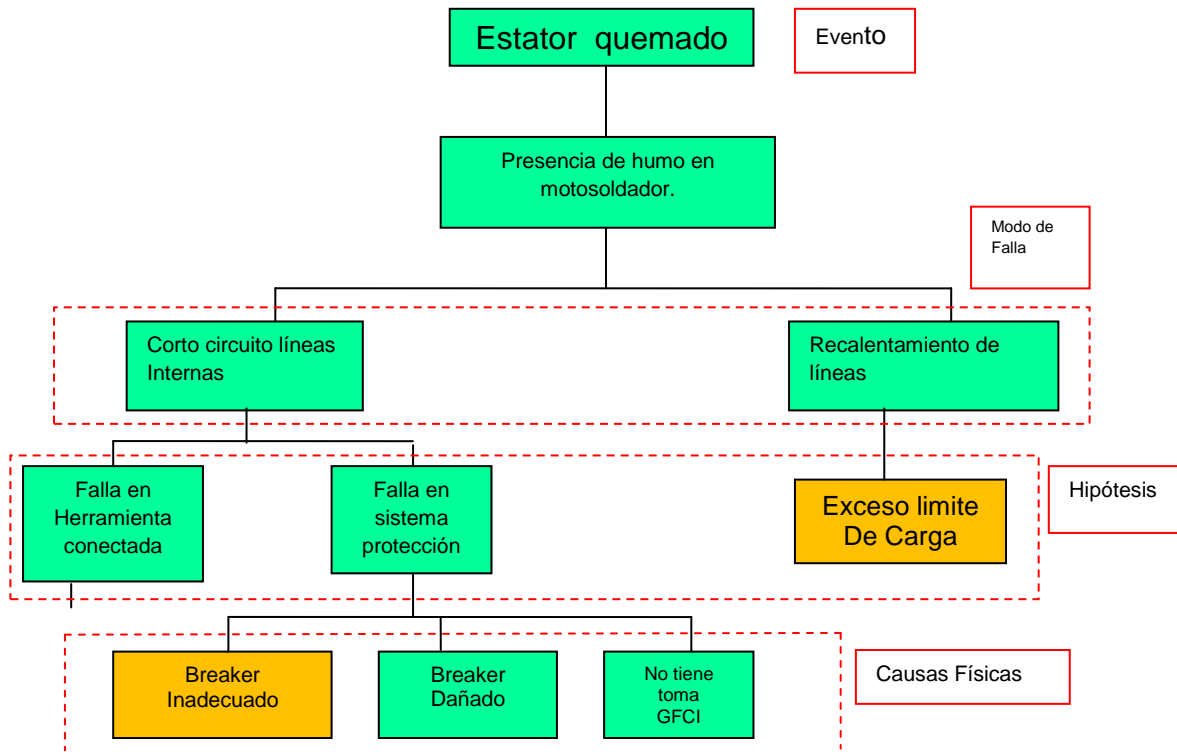
Figura 25. Breaker Quemado



Fuente: Autores.

El breaker observado en el motosoldador es el original de fábrica, se reviso en los demás motosoldadores y se encontró breaker de 20A tal como lo señala el fabricante, por consiguiente es descartada esta hipótesis. Las hipótesis para las causas físicas se muestran en la figura 26.

Figura 26. Hipótesis de causas Físicas



Fuente: Autores

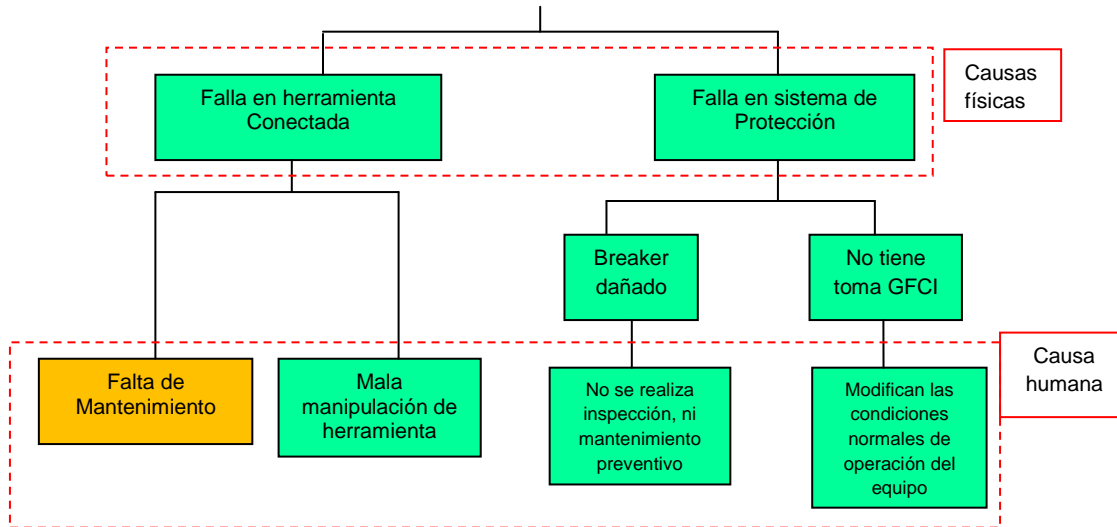
Para el estudio de las causas humanas se tomo como evidencia la información suministrada por el departamento de mantenimiento donde indican que no se realiza inspección para los sistemas de protección eléctrica del motosoldador.

Aunque el horno que se encontró con la falla había sido inspeccionado, se encontró revisando los historiales del sistema de mantenimiento que no se cumple con la totalidad de inspecciones de herramientas menores tales como hornos y pulidoras.

Además se identifica que el toma GFCI es reemplazado en el momento de su falla por tomas normales sin protección.

Las causas humanas se pueden ver en la figura 27.

Figura 27. Verificación, causas humanas

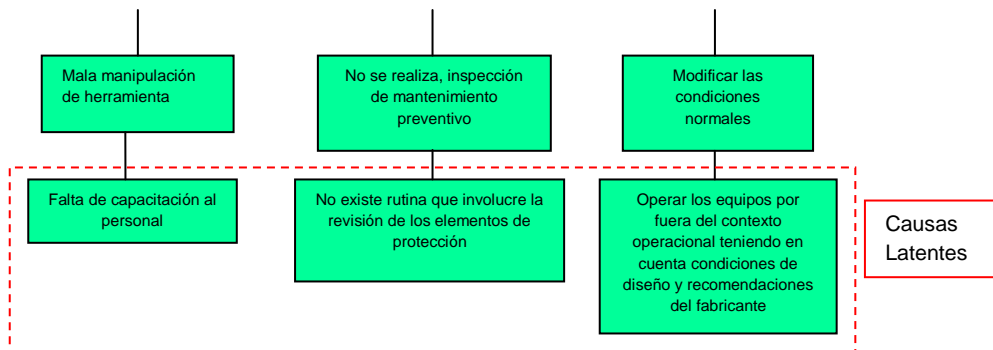


Fuente: Autores

Para solucionar el problema de raíz se deben atacar las causas latentes, figura 28, que se encuentran al final del análisis ya que estas son quienes realmente ocasionaron la cadena de eventos que produjo la falla, las causas latentes identificadas son las siguientes:

- ✓ Ausencia de una rutina de mantenimiento adecuada que involucre la revisión de los elementos de protección eléctrica del motosoldador, lo que se convierte en una grave deficiencia para el sistema.

Figura 28. Causas Latentes

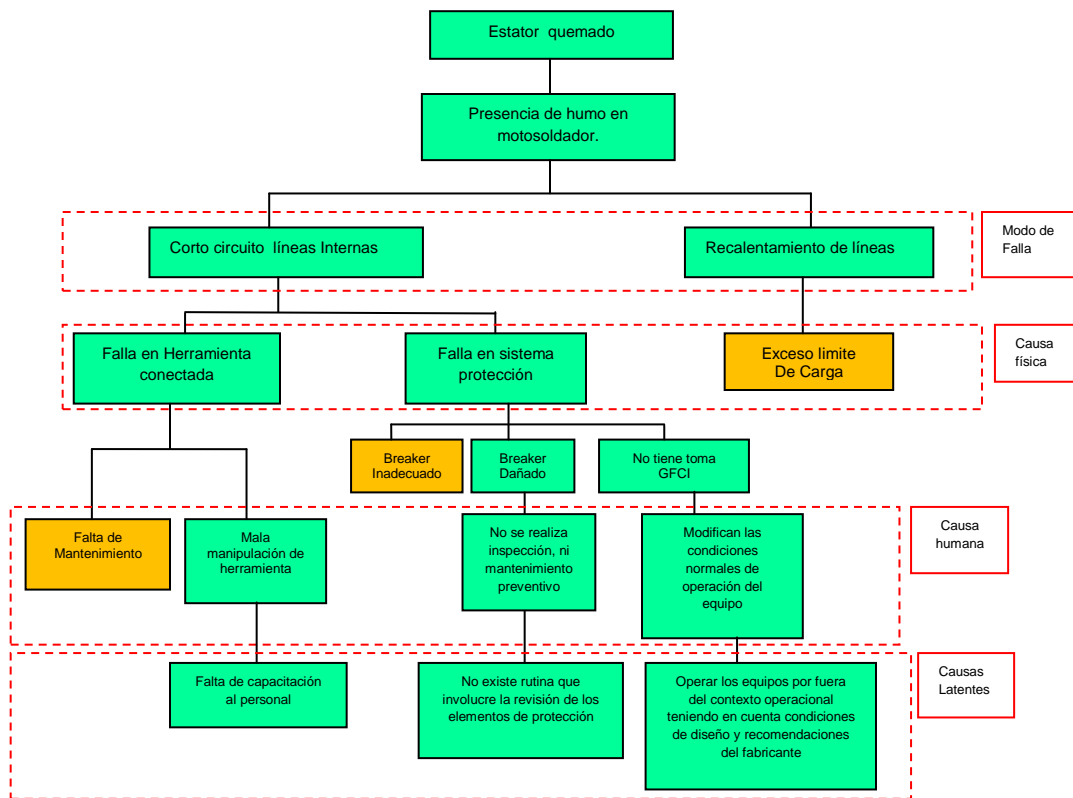


Fuente: Autores

- ✓ Falta de capacitación al personal de técnicos operarios con respecto al tema de manipulación adecuada de herramientas y cuidados al conectar y desconectar sus herramientas.
- ✓ No se tiene en cuenta las condiciones de diseño y recomendaciones del fabricante para el contexto operacional de los equipos
- ✓ No se cumple con la totalidad de inspecciones a las herramientas tales como hornos y pulidoras.

En la figura 29 se encuentra el árbol lógico de fallas.

Figura29. Árbol Lógico de Fallas, Estator Quemado



Fuente: Autores

En la tabla 4 se encuentran las recomendaciones, estas fueron formuladas de acuerdo a las causas latentes encontradas en el análisis de la falla, con esta se busca solucionar el problema de una forma definitiva, minimizar costos de mantenimiento, mejorar la disponibilidad de los equipos.

Tabla 4. Recomendaciones a Falla de Estator

<b>CAUSA LATENTE</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>
No existe rutina que involucre la revisión de los elementos de protección	Se debe revisar periódicamente los sistemas de protección eléctricos de los motosoldadores.
Operar los equipos por fuera del contexto operacional teniendo en cuenta condiciones de diseño y recomendaciones	Operar los equipos motosoldadores dentro del contexto operacional adecuado, teniendo en cuenta las recomendaciones de diseño y las recomendaciones emitidas por el fabricante, en el caso específico de la falla estandarizar los equipos instalando tomas GFCI.
Falta de capacitación al personal	Asegurar que los técnicos soldadores y supervisores operativos conozcan la manera correcta de conectar y desconectar las herramientas eléctricas a los motosoldadores

Fuente, Autores

#### **4.2 ANALISIS DE FALLA A “DESPRENDIMIENTO DE RUEDA DE TRAILER”**

Se han presentado 7 de estas fallas con un total de 51 días invertidos, la última de ellas fue en el motosoldador No. 8 en Enero de 2013.

El común de esta falla es el desprendimiento de una de las ruedas del tráiler mientras es tirado por el camión NPR, el desprendimiento se da en la mayoría de los casos en curvas o en el momento de parquear el tráiler.

Las hipótesis planteadas para los modos de fallas son las siguientes:

- ✓ Desprendimiento tuerca de sujeción de bocín
- ✓ Fractura de espárragos de bocín
- ✓ Daño en el eje

En entrevistas realizadas al personal de mantenimiento se indica que tanto la tuerca como los espárragos quedan solidarios a la rueda así que las dos primeras hipótesis no son validadas.

Igualmente el departamento de mantenimiento indica que los ejes nunca se han roto en su diámetro mayor, hay solo ruptura en las puntas. En la figura 30 se observa la clase de ejes empleados en los motosoldadores

Figura 30. Eje de Tráiler de Motosoldador



Fuente: Mecanicos Asociados S.A.S, Contrato de Soldadura

El peso del motosoldador junto con los cables de soldar es de 2000 Lb y el ancho del tráiler es de 60 pulgadas; en la figura 31 se muestran las especificaciones del

eje, teniendo en cuenta que son dos ejes se observa que la capacidad de estos excede la solicitada, así que esta hipótesis no es validada.

Figura 31. Especificaciones de eje de Tráiler

<b>Descripción del producto</b>	
<b>Familia</b>	Ejes
<b>Clave</b>	CF3560
<b>Nombre</b>	Eje para 3,500 lbs. de 60" sin masas
<b>Capacidad</b>	3,500 lbs.
<b>Aplicación</b>	Para remolque con capacidad de 3,500 lbs.
<b>Incluye</b>	1 pza.
<b>Material</b>	Tubo redondo de 2.375 x .1875
<b>Color</b>	Negro
<b>Acabado</b>	--
<b>Peso Aproximado</b>	14 kg.
<b>Medidas</b>	60" de cara a cara de las masas
<b>Comentarios</b>	Entrega inmediata
<b>Precauciones</b>	No exceder su límite de capacidad

Fuente: Fabricante Tráiler

En la figura 32 se muestran las especificaciones de las masas o bocín, teniendo en cuenta que son 4 masas, se observa que la capacidad de estos excede la solicitada, así que esta hipótesis no es validada.

En el contrato de Soldadura no se realizan inspecciones rutinarias a los ejes para verificar su estado.

Para transportar el tráiler arrastrado con vehículos en la mina de Cerrejón, se recomienda velocidades iguales o inferiores a 40Km/h, esto debido a las imperfecciones e irregularidades de sus vías.

Los motosoldadores en el en el contrato de Soldadura se utilizan para atender servicios de mantenimiento a los equipos mineros en los diferentes tajos de la mina, por observación y visitas realizadas a campo se puede identificar que para llevar los motosoldadores a los equipos mineros deben realizar radios de giro en

espacios reducidos inferiores a los de 6,2 m que recomienda el fabricante conllevando esto a que se produzca arrastre en las ruedas originando sobreesfuerzos en las puntas de los ejes.

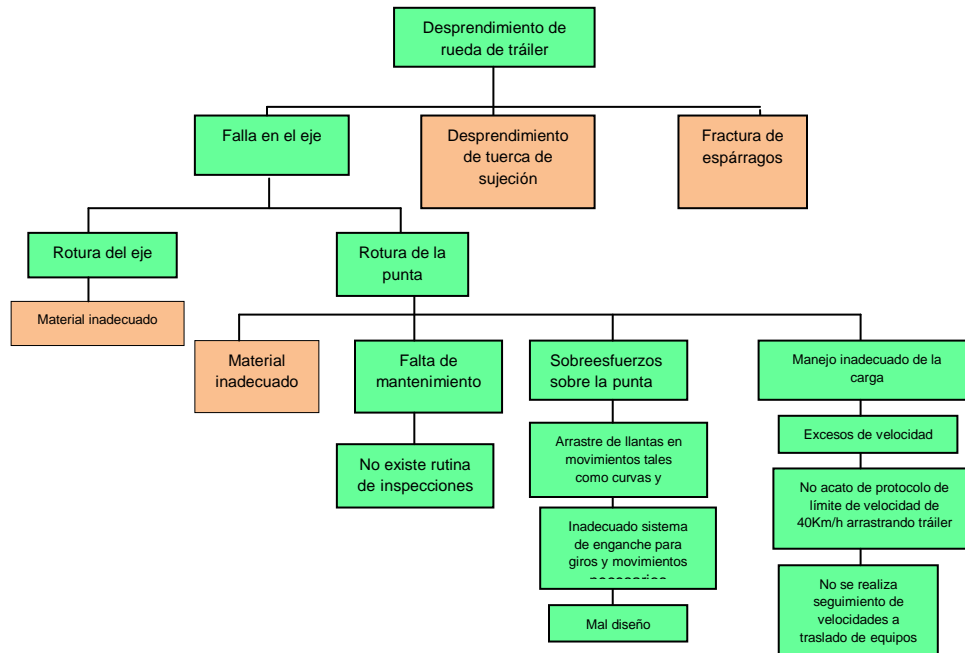
Figura 32. Especificaciones de las Masas del Tráiler

Descripción del producto	
Familia	Masas
Clave	34822444UC1
Nombre	Masa 4 en 4" para espina BT16
Capacidad	1000 lbs.
Aplicación	Para espina BT16
Incluye	Balero, retén, tuercas y tapón
Material	Fundido
Color	Negro
Acabado	--
Peso Aproximado	2 kg.
Medidas	--
Comentarios	Entrega inmediata
Precauciones	No exceder su límite de capacidad

Fuente: Fabricante Tráiler

En la figura 33 se muestra el árbol lógico de fallas para esta falla.

Figura 33. Árbol de Fallas, Desprendimiento de rueda de tráiler.



Fuente: Autores

En la tabla 5 se observan las recomendaciones encontradas:

Tabla5. Recomendaciones, Falla en eje de Tráiler

ITEM	CAUSA	RECOMENDACION
1	No existe rutina de inspección a los ejes	Inspeccionar los ejes de los tráiler de forma periódica.
2	Mal diseño	Diseñar para los tráiler de los motosoldadores un sistema que permita una mayor maniobrabilidad en los movimientos cuando estos sean tirados por los vehículos dentro de la mina.
3	No se realiza seguimiento a traslado de equipo	Establecer un mecanismo mediante el cual se garantice que la velocidad de traslado de los tráiler no exceda de 40 km/h en área de mina

Fuente: Autores

#### **4.3. PERDIDA DE POTENCIA EN MOTOR DE MOTOSOLDADOR**

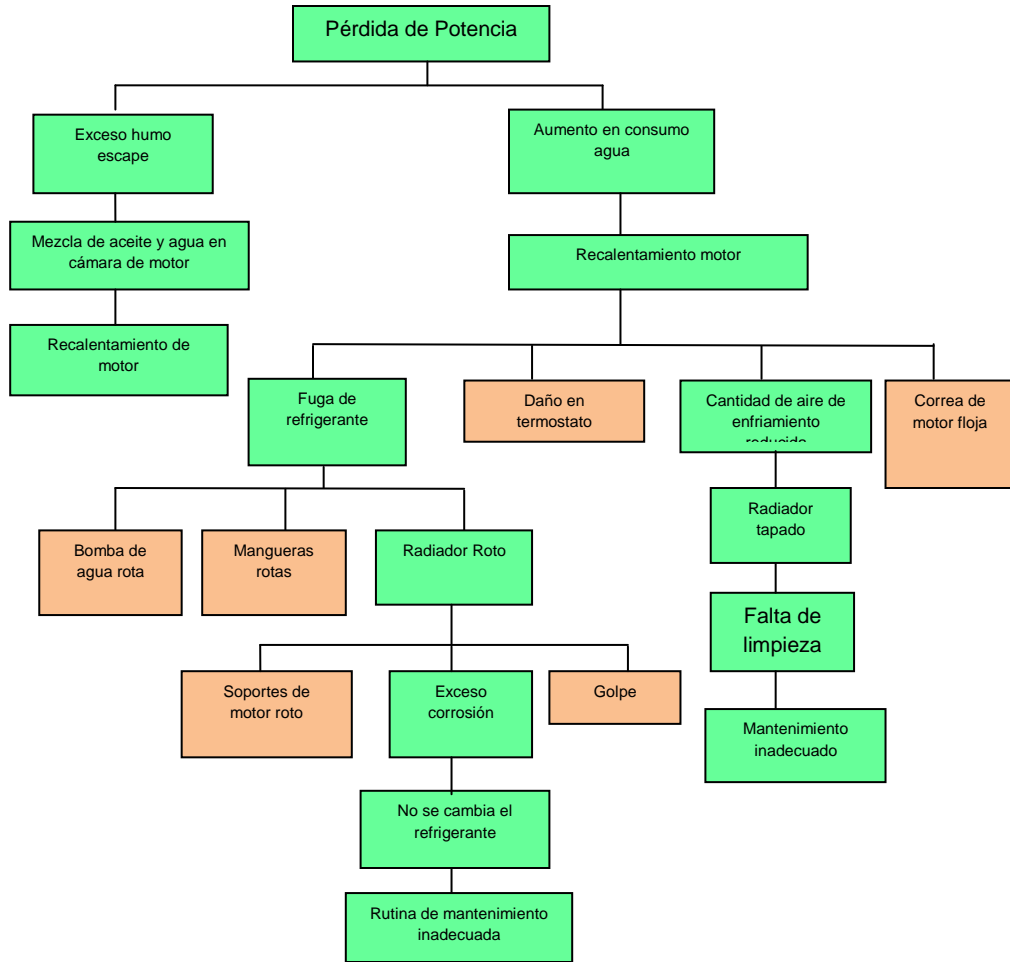
Para esta falla se analizaran dos hipótesis de modo de falla, las cuales son:

- ✓ Exceso de humo por exosto
- ✓ Aumento en consumo de agua

La validación de las hipótesis para estas fallas fue basada en entrevistas realizadas al personal de mantenimiento.

El árbol lógico de fallas se muestra en la figura 34.

Figura 34. Árbol de Fallas, Pérdida de Potencia en Motor



Fuente: Autores

Las recomendaciones encontradas para la falla de pérdida de potencia en motor se observan en la tabla 6:

Tabla6. Recomendaciones a falla de pérdida de potencia en motor

ITEM	CAUSAS	RECOMENDACIONES
1	Rutina de mantenimiento inadecuada en revisión de refrigerante	Revisar periódicamente los niveles y estado del refrigerante del motor.

2	Rutina de mantenimiento inadecuada en revisión de radiador	Realizar periódicamente limpieza al panel del radiador del motosoldador.
3	Rutina de mantenimiento inadecuada en revisión de elementos del sistema de enfriamiento	Realizar periódicamente revisión de mangueras de enfriamiento, estado de bomba de agua y correa de motor.

Fuente: Autores

#### 4.4. GRIETAS EN EL TRAILER DE MOTOSOLDADOR

En las Figuras 35 y 36 se observa la corrosión de los tráiler, además de grietas presentes en los mismos.

Figura 35. Corrosión en Guardabarros Guardabarros.



Fuente: Mecanicos Asociados, Contrato Soldadura

Figura 36. Corrosión y grieta en Motosoldador



Fuente: Mecanicos Asociados, Contrato Soldadura

Para que el acero se corra este debe quedar expuesto al oxígeno o al aire. Además, el acero se corroe mucho más rápido en presencia de otros agentes atmosféricos como el agua, óxidos de sulfuro, óxidos, lluvia ácida o rocío de bajo PH proveniente de corrosivos sueltos en la atmósfera.

Hay cinco soluciones posibles para proteger a los productos de acero contra los efectos de la corrosión:

- ✓ Acero inoxidable en lugar de Acero Normal
- ✓ Recubrir Acero Normal con zinc
- ✓ Recubrir el acero normal con plásticos especiales
- ✓ Proteger el acero con ánodos de zinc
- ✓ Pintar el acero con pinturas especiales.<sup>14</sup>

El costo del acero inoxidable y los procesos de recubrimiento con otros materiales hace que no sea práctico aplicarlo al contrato de soldadura.

El pintar el acero utilizando pinturas especiales es el método más común de proteger grandes estructuras de acero.

En entrevistas realizadas a los técnicos soldadores manifestaron que no tener mesas de corte en campo, hace que se utilice el tráiler como mesa y en consecuencia sufrir cortes como el mostrado en la figura 37.

Figura 37. Grietas en tiro de motosoldador.



Fuente: Mecanicos Asociados, contrato Soldadura

---

<sup>14</sup> <http://www.fao.org/docrep/003/v5270s/v5270s08.htm>

Las recomendaciones para esta falla se muestran en la tabla 7:

Tabla 7. Recomendaciones en falla Grietas en Motosoldador

<b>ITEM</b>	<b>CAUSAS</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>
1	No se inspecciona la estructura de los tráiler	Realizar Inspecciones periódicas a la estructura del tráiler.
2	No se protegen los tráiler con tratamiento de pintura	Establecer programa de inspecciones a los tráiler para identificar cuando se debe realizar proceso de pintura
3	Ausencia de mesa de corte para trabajar en campo	Para los trabajos de campo deben existir mesas para realizar el proceso de corte.
4	No hay sentido de pertenencia hacia los activos de la compañía	Realizar charlas de sensibilización para el cuidado de los tráiler de motosoldadores

Fuente: Autores

Para las demás fallas presentes en los motosoldadores del contrato y motivo de análisis se establecieron las causas y recomendaciones mostradas en la tabla 8:

Tabla 8. Recomendaciones Fallas en Motosoldador

<b>ITEM</b>	<b>CAUSAS</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>
1	No se inspecciona periódicamente el estado de la suspensión de los tráiler.	Revisión periódica del estado de la suspensión de los tráiler.
2	Desconocimiento de los técnicos soldadores sobre los daños que se pueden causar en los componentes del sistema eléctrico de los motosoldadores debido a malas prácticas que se ejecutan en el proceso de	Los técnicos Soldadores del contrato deben tener claros los conceptos sobre las buenas prácticas a realizar con respecto a temas tales como: manipulación de los cables de soldadura en algunos procesos, colocar los cables de manera adecuada cuando la maquina se encuentre en Circuito abierto.

	soldadura.	
3	No se revisa el estado de diodos, selector de amperaje ni de los rectificadores en las inspecciones realizadas a los motosoldadores.	Revisión periódica del estado de diodos y rectificadores de los motosoldadores.
4	No se revisa periódicamente el funcionamiento del sistema de arranque de los motosoldadores, incluyendo batería, cableado, relé, conectores y motor de arranque.	Revisión periódica del estado y funcionamiento del sistema de arranque de los motosoldadores.
5	Falta de mantenimiento al sistema de rodaje del tráiler.	Realizar mantenimiento periódico al sistema de rodaje de los tráiler de los motosoldadores.

Fuente: Autores

#### **4.5 PROPUESTA DE SEGUIMIENTO A LAS RECOMENDACIONES EMITIDAS PARA LA ELIMINACION DE LA FALLA**

Las recomendaciones emitidas en el análisis de causa raíz son las que eliminaran el problema de una forma definitiva, por tal motivo. Se hace necesario e importante diseñar un plan de seguimiento eficaz que permita la implementación adecuada y el cumplimiento satisfactorio de las mismas.

El plan de seguimiento a las recomendaciones constituirá un paso importante en la eliminación de las fallas; el personal de mantenimiento y operación desempeñaran un papel fundamental dentro del plan, ya que serán ellos quienes con sus capacidades, habilidades y potencialidades participaran activamente en el mejoramiento continuo de los procesos de confiabilidad operacional.

La siguiente propuesta contiene una justificación dentro de la cual se expone la importancia de realizar seguimiento a las recomendaciones formuladas para la

eliminación de la falla, un proceso metodológico que escribe cada una de las fases del proceso, el objetivo de la misma, y un plan de seguimiento que presenta las actividades, metas, indicadores y responsables de la ejecución del plan.

**4.5.1 Justificación.** Teniendo como base, el proceso teórico - práctico de aplicación de la metodología de análisis causa raíz desarrollado en los equipos motosoldadores del contrato de Soldadura, surge la necesidad de proponer a la coordinación del contrato un sistema de seguimiento a las recomendaciones emitidas para la eliminación de las fallas en los motosoldadores, ya que este paso es considerado importante para evitar que las causas reales del problema se vuelvan a repetir.

De no llegarse a contemplar la posibilidad de implementación de algún sistema de seguimiento a las recomendaciones, el RCA sería una actividad sin valor agregado y demasiado frustrante para el grupo de personas que realizó el análisis de falla, debido a que se invirtieron recursos, conocimientos y esfuerzos que no serán reflejados en la disponibilidad de los equipos.

- **Objetivo:** Proponer un sistema de seguimiento a las recomendaciones emitidas para la eliminación de la falla, que involucre la participación activa del personal de operación y mantenimiento.

**4.5.2 Proceso metodológico.** La propuesta del sistema de seguimiento a las recomendaciones emitidas para la eliminación de la falla, contara con las siguientes fases:

\* **Fase de diseño:** El diseño del sistema de seguimiento a las recomendaciones contiene acciones mejorativas, actividades, metas, indicadores y responsables de la ejecución.

\* **Fase de socialización:** La socialización de la propuesta del sistema de seguimiento y las conclusiones del proyecto fue presentado a la coordinación del

Contrato de Soldadura donde se determinara su viabilidad y posterior implementación.

\* **Fase de implementación:** Si la propuesta de seguimiento es aprobada, la coordinación del contrato será quien determine la gestión de los recursos técnicos, financieros y de recursos humanos necesarios para el desarrollo de actividades propuestas en el plan de seguimiento

\* **Fase de Retroalimentación:** Después de implementar la propuesta de seguimiento se recomienda realizar una retroalimentación que permita identificar las debilidades y fortalezas del sistema, además verificar la eliminación de la fallas presentadas en los motosoldadores del contrato.<sup>15</sup>

#### 4.5.3. Plan de seguimiento a las recomendaciones emitidas para la eliminación de las fallas.

<b>Recomendación 1:</b> Se debe revisar periódicamente los sistemas de protección eléctricos de los motosoldadores.		
<b>Acción mejorativa:</b> Establecer una rutina adecuada para los motosoldadores donde se establezca la revisión de los sistemas de protección.		
<b>Actividades:</b> Identificar elementos de protección eléctrica a revisar. Establecer frecuencia para la realización de estas revisiones.		
META	INDICADOR	RESPONSABLES
Lograr la implementación y ejecución de las actividades programadas en el plan de mantenimiento.	Registro escrito de la rutina de mantenimiento, donde se evalúe la relación entre lo realizado y lo programado	Supervisor de Mantenimiento

<b>Recomendación 2:</b> Operar los equipos motosoldadores dentro del contexto operacional
---

<sup>15</sup> GARCIA Palencia; Olivero. El Análisis Causa Raíz, Estrategia de Confiabilidad de Operacional. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia p.11

adecuado, teniendo en cuenta las recomendaciones de diseño y las recomendaciones emitidas por el fabricante, en el caso específico de la falla estandarizar los equipos instalando tomas GFCI.		
<b>Acción Mejorativa:</b> Asegurar la estandarización de los motosoldadores en lo que respecta a los tomas de GFCI de 110 V.		
<b>ACTIVIDADES:</b> Realizar inventario de equipos que no posean el toma GFCI Gestionar la compra de los elementos faltantes Reemplazo de los tomas subestandar		
<b>METAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>RESPONSABLES</b>

<b>Recomendación 3:</b> Asegurar que los técnicos soldadores y supervisores operativos conozcan la manera correcta de conectar y desconectar las herramientas eléctricas a los motosoldadores		
<b>Acción Mejorativa:</b> Divulgar al personal operativo sobre la manera correcta de conectar y desconectar las herramientas eléctricas a los motosoldadores y las consecuencias de no hacerlo		
<b>ACTIVIDADES:</b> Realizar charlas al inicio del turno, donde se muestre de manera real la buena práctica a realizar		
<b>METAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>RESPONSABLES</b>
Lograr que el 100% del personal operativo reciba la información	Registro escrito de las charlas	Jefes de Área, Supervisores de seguridad
Que el 100 % de los motosoldadores del contrato tengan toma GFCI operativo	Evidencia física debidamente documentada de los cambios realizados	Departamento de Mantenimiento

<b>Recomendación 4:</b> Inspeccionar los ejes de los tráiler de forma periódica.		
<b>Acción Mejorativa:</b> Establecer dentro de la rutina de mantenimiento la inspección por parte del Equipo de Inspectores de soldadura, a los ejes de los tráiler		
<b>ACTIVIDADES:</b> Establecer frecuencia para la realización de estas revisiones. Asegurar que el grupo de inspectores realice la revisión		
<b>METAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>RESPONSABLES</b>
Lograr la implementación y ejecución de las actividades programadas en el plan de	Informe escrito de la inspección de soldadura.	Supervisor de Mantenimiento. Coordinador de Calidad.

mantenimiento.		
----------------	--	--

<b>Recomendación 5:</b> Diseñar para los tráiler de los motosoldadores un sistema que permita una mayor maniobrabilidad en los giros cuando estos sean tirados por los vehículos dentro de la mina.		
<b>Acción Mejorativa:</b> Realizar cambios en el sistema de enganche del tráiler con el fin de mejorar la maniobrabilidad en los giros cuando estos sean tirados por los vehículos dentro de la mina		
<b>ACTIVIDADES:</b> Presentar propuestas de diseño para la acción mejorativa. Escoger la mejor opción teniendo en cuenta diseño y costos aceptables dentro del presupuesto del contrato. Fabricación e instalación del nuevo sistema.		
METAS	INDICADORES	RESPONSABLES
Instalar el nuevo sistema a la totalidad de motosoldadores que son trasladados por medio de tráiler	Informe documentado de la cantidad de sistemas instalados Vs los programados.	Coordinación Contrato. Supervisor Mantenimiento

<b>Recomendación 6:</b> Establecer un mecanismo mediante el cual se garantice que la velocidad de traslado de los tráiler no exceda de 40 km/h en área de mina		
<b>Acción Mejorativa:</b> Monitorear aleatoriamente mediante el sistema de control satelital la velocidad de los vehículos que trasladan los tráiler que portan los motosoldadores.		
<b>ACTIVIDADES:</b> Divulgar al personal operativo y conductores la importancia y la incidencia negativa que tiene el exceso de velocidad en la durabilidad de la estructura o bastidor del tráiler. Información por parte de Operaciones a Mantenimiento del Número interno del vehículo y la hora exacta de inicio del traslado del tráiler en un lapso no mayor a 24 horas. Extraer información de velocidades del sistema de control satelital y verificar si existen excesos.		
METAS	INDICADORES	RESPONSABLES
Lograr que la totalidad de los movimientos de traslado de tráiler se realice por debajo de la velocidad límite establecida en la mina.	Informe documentado de las velocidades máximas registradas en el sistema.	Supervisor de Campo. Supervisor de Mantenimiento.

<b>Recomendación 7:</b> Revisar periódicamente los niveles y estado del refrigerante del motor.		
<b>Acción Mejorativa:</b> Establecer una rutina adecuada para los motosoldadores donde se establezca la revisión los niveles y estado del refrigerante del motor.		
<b>ACTIVIDADES:</b> Dotar al personal de mantenimiento de la herramienta adecuada para revisar el estado del refrigerante. Establecer la frecuencia de revisión.		
<b>METAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>RESPONSABLES</b>
Lograr la implementación y ejecución de las actividades programadas en el plan de mantenimiento.	Registro escrito de la rutina de mantenimiento, donde se evalúe la relación entre lo realizado y lo programado	Supervisor de Mantenimiento

<b>Recomendación 8:</b> Realizar periódicamente limpieza al panel del radiador del motosoldador.		
<b>Acción Mejorativa:</b> Establecer una rutina adecuada para los motosoldadores donde se establezca la limpieza del panel del radiador.		
<b>ACTIVIDADES:</b> Establecer frecuencia para la realización de la limpieza.		
<b>METAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>RESPONSABLES</b>
Lograr la implementación y ejecución de las actividades programadas en el plan de mantenimiento.	Registro escrito de la rutina de mantenimiento.	Supervisor de Mantenimiento

<b>Recomendación 9:</b> Realizar periódicamente revisión de mangueras de enfriamiento, estado de bomba de agua y correa de motor.		
<b>Acción Mejorativa:</b> Establecer una rutina adecuada para los motosoldadores donde se establezca la revisión de mangueras de enfriamiento, estado de bomba de agua y correa de motor.		
<b>ACTIVIDADES:</b> Establecer frecuencia para la realización de las revisiones.		
<b>METAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>RESPONSABLES</b>
Lograr la implementación y ejecución de las actividades	Registro escrito de la rutina de mantenimiento.	Supervisor de Mantenimiento

programadas en el plan de mantenimiento.		
--	--	--

<b>Recomendación 10:</b> Realizar Inspecciones periódicas a la estructura del tráiler.		
<b>Acción Mejorativa:</b> Establecer dentro de la rutina de mantenimiento la revisión de la estructura del tráiler.		
<b>ACTIVIDADES:</b> Definir la frecuencia de estas inspecciones. Avisar al departamento de Calidad para el envío de los inspectores de soldadura a realizar la inspección. Realizar informe y plan de acción.		
<b>METAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>RESPONSABLES</b>
Lograr la implementación y ejecución de las actividades programadas en el plan de mantenimiento.	Registro escrito de la rutina de mantenimiento. Informe documentado de las inspecciones.	Supervisor de Mantenimiento. Coordinador de Calidad. Grupo de inspectores de Soldadura MASA.

<b>Recomendación 11:</b> Para los trabajos de campo deben existir mesas para realizar el proceso de corte.		
<b>Acción Mejorativa:</b> Fabricar mesas de corte para realizar trabajos en campo.		
<b>ACTIVIDADES:</b> Diseñar y fabricar mesas de corte para trabajos en campo, que sean fáciles de transportar y almacenar. Sensibilizar al personal técnico de campo de la no utilización de los tráiler como soportes para realizar labores de corte.		
<b>METAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>RESPONSABLES</b>
Colocar mesas de corte en cada uno de los sitios de trabajos en campo. Realizar charlas al 100 % del personal de campo sobre la sensibilización.	Evidencia fotográfica de las mesas fabricadas. Registro escrito de las charlas realizadas	Supervisor Operativo. Supervisores de campo.

<b>Recomendación 12:</b> Revisión periódica del estado de la suspensión de los tráiler.		
<b>Acción Mejorativa:</b> Establecer en la rutina periódica de mantenimiento la revisión del estado de la suspensión de los tráiler.		
<b>ACTIVIDADES:</b> Establecer frecuencia para la realización de las revisiones.		
<b>METAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>RESPONSABLES</b>
Lograr la implementación y ejecución de las actividades programadas en el plan de mantenimiento.	Registro escrito de la rutina de mantenimiento.	Supervisor de Mantenimiento

<b>Recomendación 13:</b> Los técnicos Soldadores del contrato deben tener claros conceptos sobre las buenas prácticas a realizar con respecto a temas tales como: manipulación de los cables de soldadura en algunos procesos, colocar los cables de manera adecuada cuando la maquina se encuentre en Circuito abierto.		
<b>Acción Mejorativa:</b> Realizar charlas a los técnicos soldadores sobre CUIDADOS Y RIESGOS ELECTRICOS en el proceso de soldadura.		
<b>ACTIVIDADES:</b> Programar la actividad para garantizar que el 100% del personal técnico reciba la charla.		
<b>METAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>RESPONSABLES</b>
Lograr que el 100% del personal técnico de Soldadura reciba la charla.	Registro de asistencia a charlas documentado.	Coordinación Seguridad Eléctrica. Grupo de Integridad Operacional.

<b>Recomendación 14:</b> Revisión periódica del estado de diodos y rectificadores de los motosoldadores		
<b>Acción Mejorativa:</b> Establecer en la rutina periódica de mantenimiento la revisión del estado de diodos y rectificadores del motosoldador.		
<b>ACTIVIDADES:</b> Establecer frecuencia para la realización de las revisiones.		
<b>METAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>RESPONSABLES</b>
Lograr la implementación y	Registro escrito de la rutina de	Supervisor de Mantenimiento

ejecución de las actividades programadas en el plan de mantenimiento.	mantenimiento.	
---	----------------	--

<b>Recomendación 15:</b> Revisión periódica del estado y funcionamiento del sistema de arranque de los motosoldadores.		
<b>Acción Mejorativa:</b> Establecer en la rutina de mantenimiento la revisión periódica del estado y funcionamiento del sistema de arranque de los motosoldadores		
<b>ACTIVIDADES:</b> Establecer frecuencia para la realización de las revisiones.		
<b>METAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>RESPONSABLES</b>
Lograr la implementación y ejecución de las actividades programadas en el plan de mantenimiento.	Lograr la implementación y ejecución de las actividades programadas en el plan de mantenimiento.	Lograr la implementación y ejecución de las actividades programadas en el plan de mantenimiento.

<b>Recomendación 16:</b> Realizar mantenimiento periódico al sistema de rodaje de los tráiler de los motosoldadores.		
<b>Acción Mejorativa:</b> Establecer en la rutina de mantenimiento la revisión al sistema de rodaje de los tráiler de los motosoldadores.		
<b>ACTIVIDADES:</b> Establecer frecuencia para la realización de las revisiones.		
<b>METAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>RESPONSABLES</b>
Lograr la implementación y ejecución de las actividades programadas en el plan.	Lograr la implementación y ejecución de las actividades programadas en el plan.	Lograr la implementación y ejecución de las actividades programadas en el plan.

## 5. PLAN MANTENIMIENTO PREVENTIVO

La planeación está dada como el proceso mediante el cual se identifica los recursos para ejecutar una tarea, todo esto antes de que se inicie el trabajo. La programación está encaminada a determinar la hora o el momento específico las etapas necesarias de los trabajos planeados juntos con las ordenes a efectuar el trabajo, además tienen en cuenta el monitoreo, el control y el reporte del avance del trabajo, es por esto necesario que para que la planeación sea exitosa primero deberá ser requisito previo de la programación y además la persona encargada de realizar dicha planeación sea la misma encargada de realizar la programación.

La planeación y la programación son tal vez los aspectos más importantes a la hora de realizar una correcta administración del mantenimiento ya que contribuyen de manera significativa con los siguientes parámetros.

- Reduce los costos de mantenimiento, los estudios realizados por diferentes investigadores incluyendo La General Motor demuestran un claro vínculo entre el mantenimiento planeado y la reducción de costos.
- Mejor uso de los recursos necesarios para la operación ya que se reducen las demoras e interrupciones también proporciona un mejor ambiente en la coordinación y facilita la supervisión.
- Mejora la calidad del mantenimiento al utilizar mejores métodos y procedimientos entre otras cosas porque permite asignar los trabajadores mejores calificados para el desarrollo del trabajo.

También podemos incluir los objetivos principales que la planeación y programación deben tener en cuenta para un correcto funcionamiento:

- Minimizar el tiempo de ocio de los trabajadores del área de mantenimiento.
- Maximizar el tiempo de trabajo eficiente, los insumos utilizados y los equipos.

- Mantener los equipos de producción en un nivel adecuado para satisfacer el programa de distribución y el departamento de calidad.<sup>16</sup>

## 5.1 PLANEACION DEL MANTENIMIENTO

Durante el proceso de planeación debe tenerse en cuenta las funciones relacionadas con la preparación de ordenes de trabajo, lista de material a utilizar, el requerimiento de compras, planos y dibujos necesarios, la hoja de planeación de la mano de obra, los estándares de tiempo y todos los datos que sean considerados necesarios antes de programar y liberar una orden de trabajo OT. Para ser consecuentes un mantenimiento planeado deberá incluir lo siguiente:

- ❖ Determinar el contenido del trabajo (puede requerir visitas al sitio de operación).
- ❖ Desarrollar un plan de trabajo, está comprendido por organizar la secuencia de las actividades del trabajo a realizar y la mejora en los métodos y procedimientos para realizar el trabajo.
- ❖ Determinar el recurso humano para realizar el trabajo.
- ❖ Planear y solicitar las partes y los materiales requeridos.
- ❖ Verificar el uso de equipos y herramientas especiales, en caso de su uso gestionar la obtención de ellos.
- ❖ Establecer el recurso humano capacitado para el desarrollo del trabajo.
- ❖ Revisar los productos de seguridad.
- ❖ Determinar las prioridades en todo el trabajo de mantenimiento como lo son: emergencia, urgente, rutina y programado.
- ❖ Asignar las cuentas de costos.
- ❖ Completar la orden de trabajo.
- ❖ Revisar los trabajos pendientes y desarrollar los planes para el control de los mismos.

---

<sup>16</sup> Borrás Pinilla, Carlos. Principios de Mantenimiento, pág. 37

Se diseñó un Instructivo para el Mantenimiento Preventivo del Motosoldador, este se puede observar en la figura 38.

Figura 38. Instructivo para Mantenimiento Preventivo de motosoldador

INSTRUCTIVO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MOTOSOLDADORES	
<b>1. OBJETIVO.</b>	Asegurar el mantenimiento Preventivo de Motosoldadores propiedad de Mecánicos Asociados S.A.S asignados a los servicios del contrato de soldadura en el Cerrejon.
<b>2. ALCANCE.</b>	Tiene cobertura para los motosoldadores Big BLUE 600X, del contrato de Soldadura.
<b>3. RESPONSABLE:</b>	Supervisor de Mantenimiento.
<b>4. DESCRIPCION.</b>	
<b>4.1 NOTAS DE SEGURIDAD</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Clasificación del Riesgo: Medio.</li><li>• Antes de efectuar la tarea es necesario: EPP, procedimiento de bloqueo, AST.</li></ul>
<b>4.2 Controles Ambientales</b>	Clasificar y disponer los residuos en los recipientes indicados para ello.
<b>5.3 PLANEACIÓN DEL MANTENIMIENTO.</b>	
5.3.1	Los responsables de los equipos deben conocer el tiempo de intervalo entre rutinas de mantenimiento preventivo, siendo este estipulado de la siguiente manera: 300 +/- 50 h.
5.3.2	El personal del taller de mantenimiento informa a cada uno de los responsables de los equipos dentro de las 30 horas antes de cumplir con el tiempo indicado para el mantenimiento Preventivo, para que estos sean llevados al taller para su correspondiente mantenimiento. Adicionalmente cada motosoldador tendrá colgado a la altura de superilla de control un recordatorio para el próximo PM.
5.3.3	En caso de que el equipo no sea llevado al taller para el mantenimiento preventivo se notificará al Supervisor Mayor del Hecho para que este coordine la entrega de los mismos.
<b>5.4 RECIBO DE EQUIPOS</b>	
5.4.1	El usuario de turno del equipo lo entrega al taller para mantenimiento.
5.4.2	El Técnico del Taller de Mantenimiento recibe el equipo y abre la correspondiente Orden de trabajo, registrando los campos correspondientes a inventario, nombre y firma del usuario que entrega, tareas requeridas por el usuario, y demás campos que aplique para el mantenimiento del equipo.
5.4.3	El Técnico del Taller de Mantenimiento realiza el mantenimiento de acuerdo a las rutinas establecidas, por horas de operación, generando el registro de mantenimiento.
5.4.4	Efectúa la programación de tareas o reparaciones a efectuar en próximo mantenimiento y registra en la hoja de vida de cada vehículo.
5.4.5	El Técnico del Taller de Mantenimiento archiva la información en la hoja de vida del equipo intervenido (Orden de Trabajo, Rutina de Mantenimiento).
<b>5.5 ENTREGA DE EQUIPOS A USUARIOS.</b>	
5.5.1	El Técnico del Taller de Mantenimiento entrega el equipo al responsable de turno.
5.5.2	El Responsable de turno verifica las actividades solicitadas y desarrolladas, registra la información de conformidad, registra el nombre y firma de recibo.
<b>5.6 SEGUIMIENTO AL PLAN</b>	
	El supervisor de mantenimiento junto con el coordinador de contrato realizarán seguimiento semanal al plan, mensualmente se reportará los mantenimientos programados, los mantenimientos ejecutados y el indicador de disponibilidad.

Fuente: Mecanicos Asociados S.A.S, Contrato de Soldadura

## **5.2 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO**

Es necesario elaborar un programa específico de mantenimiento para cada una de las piezas de los equipos, el programa debe ser un listado de tareas que se le realizaran a cada equipo, en el programa debe incluirse el nombre y número de identificación del equipo, su ubicación, numero de referencia del programa, el listado de tareas que se deben llevar a cabo como inspecciones, mantenimiento preventivo, remplazos además debe incluir la frecuencia con la que se debe realizar cada tarea, el tipo de personal requerido para realizarlas, tiempo de ejecución de cada tarea, las herramientas necesarias para ejecutarla, los materiales y demás detalles necesarios para la ejecución de cada tarea a programar.

Para realizar la planeación y la programación, el personal que debe realizar esta labor debe tener las siguientes cualidades:


1. Completo conocimiento de los métodos de producción empleados en toda la planta.
2. La experiencia necesaria para poder estimar la mano de obra, los materiales y los equipos que se utilizaran, para así diligenciar las ordenes de trabajo en forma correcta.
3. Excelentes habilidades de comunicación.
4. Amplio conocimiento de las herramientas utilizadas en la planeación y en la programación.
5. Conocimiento técnico mínimo de las acciones que se deban realizar en el área de mantenimiento en la producción.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> Borrás Pinilla, Carlos. Principios de Mantenimiento, pág. 40

**5.2.1 Inspección diaria.** Para el motosoldador BIG BLUE 600X utilizado en el contrato de Soldadura se emplea el formato de Preoperacional mostrado en la figura 39.

Figura 39. Inspección Preoperacional De Motosoldador.

		<b>INSPECCIÓN PREOPERACIONAL DE MOTO SOLDADOR</b>		
<b>EQUIPO N°:</b>	<b>FECHA:</b>	<b>HOROMETRO:</b>		
<b>NOMBRE DEL TECNICO:</b>		<b>TURNO:</b> <input type="checkbox"/> A1 <input type="checkbox"/> A2		
<b>MOTOSOLDADOR</b>				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CUMPLE		
		SI	NO	
1	ESTRUCTURA GENERAL DEL EQUIPO (Estructura Fisica)			
2	EXTINTOR DE INCENDIO OPERATIVO			
3	COMPUERTAS EN BUEN ESTADO			
4	LLANTAS EN BUEN ESTADO. TUERCAS DE RUEDAS BIEN AJUSTADAS			
5	MUELLES EN BUEN ESTADO (Sin partiduras o desalineados)			
6	SISTEMA DE TIRO (libre de grietas, tornillos de sujecion completos)			
7	ANCLAJE DEL EQUIPO AL TRAILER O VEHICULO			
8	ESTADO GATO DE SOSTENIMIENTO			
9	NIVEL DE REFRIGERANTE TANQUE DE EXPANSION			
9.1	Tapa del tanque de expansion			
9.2	Tapa del Radiador			
10	NIVEL DE ACEITE DEL MOTOR			
11	BATERIA / BORNES Y SOPORTE			
12	ESTADO DE SWITCH Y PERILLAS DEL TABLERO DE MANDO			
13	INDICADORES FUNCIONANDO			
14	NIVEL DE COMBUSTIBLE			
14.1	Tapa del tanque de combustible			
15	ESTADO DE LOS CONECTORES DE LOS CABLES			
16	PROTECTORES DE CONECTORES (+) y (-)			
17	ESTADO DEL TOMA DE 110V Y 220V			
18	ESTADO CABLE DE SOLDAR (+)			
19	ESTADO CABLE DE SOLDAR (-)			
20	PORTA ELECTRODO			
21	PINZA MAZA			
<b>¡NO OPERE EL EQUIPO SI NO CUMPLE UNO DE ESTOS ÍTEMS!</b>				
<b>OBSERVACIONES:</b>				
Firma del Técnico				
<b>"FORJANDO UNA CULTURA DE SEGURIDAD TOTAL"</b>				
<b>REPORTEMOS Y CORRIJAMOS TODA CONDICIÓN SUB-ESTÁNDAR QUE DETECTEMOS</b>				

Fuente, Mecanicos Asociados S.A.S, Contrato Soldadura.

Las inspecciones o rutas diarias contienen tareas que se realizan fácilmente. La mayor parte de ellas se refieren a controles visuales (ruidos y vibraciones extrañas, control visual de fugas), mediciones (tomas de datos, control de determinados parámetros) y pequeños trabajos de limpieza y/o engrase. En general, todas las tareas pueden hacerse con los equipos en marcha. Son la base de un buen mantenimiento preventivo, y permiten llevar al día la planta. Es además, la parte de trabajo de mantenimiento más fácilmente trasladable al personal de producción (o de operación).<sup>18</sup>

### **5.2.2 Rutina de Mantenimiento.**

Para establecer la rutina de mantenimiento Preventivo, se tuvo en cuenta las recomendaciones del fabricante, las recomendaciones encontradas del Análisis de Causa Raíz y la experiencia del grupo de técnicos del Taller de Mantenimiento del contrato.

Los subsistemas que se analizaron para la elaboración de esta rutina son:

- Motor.
- Sistema Eléctrico
- Sistemas de Control
- Tráiler:

En la rutina se establecen las actividades a realizar así como las frecuencias de ejecución de cada una.

En la figura 40 se observa el formato para la realización de la rutina de mantenimiento preventivo para los motosoldadores Big Blue 600X del contrato de Soldadura.

---

<sup>18</sup> <http://www.mantenimientoindustrial.ec>

Figura 40. Rutina de Mantenimiento para Motosoldador Big Blue 600X.

masa		REGISTRO DE MANTENIMIENTO DE MOTOSOLDADORES									
NOMBRE EQUIPO:		N° EQUIPO		Horómetro:							
FECHA:		HORA:		CABLES DE SOLDAR							
TECNICO											
ITEM	GUIA DE MANTENIMIENTO	INSPECCIONES SEGUN HORAS DE OPERACION						REALIZO			
		300 h	600 h	900	1200 h	1500 h	1800 h	SI	NO		
<b>MOTOR, SISTEMAS DE COMBUSTIBLE</b>											
1	Cambio de Aceite Motor	0	0	0	0	0	0				
2	Cambio filtro de Aceite	0	0	0	0	0	0				
3	Cambiar Filtro de Aire	0	0	0	0	0	0				
4	Cambiar Filtros de Combustible	0	0	0	0	0	0				
5	Inspeccionar Nivel de Refrigerante al Radiador y densidad del mismo	0	0	0	0	0	0				
6	Calibrar de Válvulas de Motor y verificar estado de la junta						0				
7	Verificar sistema de inyectores y limpieza si es necesario						0				
8	Inspeccionar Mangueras Sistema de Combustible	0									
9	Inspeccionar Mangueras Sistema de Enfriamiento	0									
10	Comprobar la tensión y el estado de la correa del motor	0									
11	Comprobar ausencia de grietas y fugas a bomba de agua	0									
12	Drenar Tanque de Combustible		0		0		0				
13	Limpieza Panel Radiador	0	0	0	0	0	0				
<b>SISTEMA ELECTRICO</b>											
14	Comprobar el buen funcionamiento de los sistemas de protección eléctricos	0	0	0	0	0	0				
15	Comprobar el buen funcionamiento del sistema de indicadores de control	0	0	0	0	0	0				
16	Revisión del funcionamiento Motor de Arranque		0		0		0				
17	Revisión de funcionamiento de Alternador		0		0		0				
18	Comprobar el estado general de la batería, y densidad y nivel del electrolito	0	0	0	0	0	0				
19	Revisar y ajustar bornes y terminales de cables de soldadura	0	0	0	0	0	0				
20	Revisar cables de soldadura (que no exista exposición del conductor)	0	0	0	0	0	0				
21	Inspeccionar estado de escobillas del Colector		0		0		0				
22	Eliminar sulfatos en bornes de batería, reemplazar si es necesario y verificar el apriete	0	0	0	0	0	0				
23	Medir Tensión a la salida de terminales de soldadura, (85V-95V), DC	0	0	0	0	0	0				
24	Medir Tensión a la salida de tomas, 110 V, 220 V, AC	0	0	0	0	0	0				
25	Inspeccionar base de transformador		0		0		0				
26	Verificar cable de puesta a tierra de motosoldador	0	0	0	0	0	0				
27	Limpieza del Selector de Amperaje		0		0		0				
28	Revisión estado de los diodos y rectificadores		0		0		0				
<b>TRAILER</b>											
29	Inspección de soldadura a los ejes del trailer		0		0		0				
30	Inspección Estructural del trailer: Bastidor, guardabarros, tiro, enrollables.		0		0		0				
31	Verificar Ajuste Grapas Trailer		0		0		0				
32	Revisión de Rodamientos del Trailer	0	0	0	0	0	0				
33	Revisión extintor y portaeintor	0	0	0	0	0	0				
34	Verificar Ajuste Pernos de las Ruedas	0	0	0	0	0	0				
35	Revisión de la suspensión del trailer: Muelles, grapas, cojinetes	0	0	0	0	0	0				
36	Lavado General Equipo	0	0	0	0	0	0				
36	Estado de las llantas	0	0	0	0	0	0				
37	Verificar Revisión Mensual del motosoldador	0	0	0	0	0	0				
38	Verificar Calibración del motosoldador	0	0	0	0	0	0				

Fuente: Mecanicos Asociados S.A.S, Contrato de Soldadura

Para las revisiones eléctricas se desarrollo el procedimiento mostrado en la figura 41.

Figura 41. Instructivo para revisión eléctrica de motosoldadores.

**INSTRUCTIVO PARA REVISION ELECTRICA DE MOTOSOLDADORES**

**1. OBJETIVO.**  
Establecer y garantizar que la actividad de Revisión Eléctrica de los motosoldadores se realice cumpliendo con los lineamientos establecidos en Seguridad, Medio Ambiente, Calidad del servicio y cumplan con los requisitos especificados por el cliente y las necesidades comerciales y operativas de la empresa.

**2. ALCANCE.**  
Este instructivo cubre las revisiones eléctricas hechas a los motosoldadores de propiedad del contrato de soldadura utilizados en la mina Cerrejón

**3. RESPONSABLE:** Supervisor de Mantenimiento.

**4. DESCRIPCION.**

**4.1 NOTAS DE SEGURIDAD**

- Clasificación del Riesgo: Medio.
- Antes de efectuar la tarea es necesario: EPP, procedimiento de bloqueo, AST.
- En campo, demarcación de área.
- Verificar que las herramientas estén en condiciones estándar.

**4.2 CONTROLES AMBIENTALES**  
Clasificar y disponer los residuos en los recipientes indicados para ello.

**5.3 PASOS DE LA TAREA.**

5.3.1 Ubicar el motosoldador en un área limpia, organizada y lo más plana posible con suficiente espacio a los alrededores del mismo para que el trabajo se realice sin obstáculos; si el trabajo se realiza encampo demarque y señalice el área de trabajo.

5.3.2 Colocar cuñas en una de las ruedas del tráiler, evitando deslizamientos que puedan causar lesiones personales o daños a la propiedad. Si el motosoldador se encuentra sobre un móvil, este debe estar completamente apagado. Establecer comunicación con el conductor sobre el trabajo a realizar, solicitar las llaves del vehículo y colocar cuñas en una de las ruedas del mismo.

5.3.3 Colocar Tarjeta amarilla y aviso de "Equipo en Prueba"

5.3.4 Revise que las puntas de los cables de soldar no estén unidas entre si o en contacto con alguna de las partes del equipo. Encienda el motosoldador y con la Pinza Voltiamperimétrica realice toma de voltajes a la salida de los terminales de soldar y en los receptáculos de Tensión.

5.3.5 Si las lecturas no son las esperadas o existe otra clase de falla eléctrica reportada, prosiga a desconectar la batería y colocar en los bornes candados de bloqueo amarillo y rojo acompañados respectivamente de tarjeta blanca y de tarjeta roja de no opere perfectamente diligenciadas.

5.3.6 Soltar la tornillería y quitar las tapas laterales y superior de la estructura del motosoldador.

5.3.7 Descargar a tierra el condensador ubicado en la caja de control en la parte lateral derecha del motosoldador.

5.3.8 Revise y limpie las escobillas del colector, cambie si es necesario (50% de su longitud original).

5.3.9 Realice revisión de las líneas eléctricas, limpieza de conectores, revisión de diodos, fusibles y demás componentes eléctricos.

5.3.10 Después de revisar, limpiar y ajustar el sistema eléctrico y reemplazar los componentes encontrados defectuosos, prosiga a quitar el candado, conectar la batería y encender el motosoldador para revisar nuevamente los voltajes de salida.

5.3.11 Si la salida de voltaje en los terminales y receptáculos es correcta apague el motosoldador y coloque las tapas protectoras superior y laterales.

5.3.12 Verifique la Inspección mensual del motosoldador, en caso de no tenerla prosiga a realizarla con el correspondiente formato, teniendo en cuenta que la Inspección mensual se puede realizar los últimos cinco días del mes anterior y los cinco primeros días del mes en curso.

5.3.13 Entregue el equipo.



Fuente: Mecanicos Asociados S.A.S

### **5.3 CONTROL DEL PROGRAMA**

El programa de mantenimiento a ejercer debe ejecutarse del mismo modo en que fue planeado, por eso es necesario ejercer una vigilancia sobre la ejecución del programa, donde se pueda observar e identificar desviaciones respecto a lo planeado, de existir dicha desviación es necesario tomar acciones correctivas las cuales están estandarizadas como métodos de control.<sup>19</sup>

En el punto 5 del instructivo para Mantenimiento Preventivo de Motosoldadores se indica que el supervisor de mantenimiento junto con el coordinador del contrato realizaran seguimiento semanal al plan.

En las reuniones semanales el supervisor de Mantenimiento presentara un cuadro, como el de la figura 40, donde se muestra la ubicación del equipo, el Horometro actual, observaciones de la semana, el último mantenimiento así como su Horometro.

Mediante condicionales las celdas del próximo PM aparecerán en color rojo si esta para mantenimiento inmediato o en amarillo si se debe avisar al responsable del equipo para su mantenimiento

Mensualmente se reportara los mantenimientos programados y los mantenimientos ejecutados así como el indicador de disponibilidad.

---

<sup>19</sup> Borrás Pinilla, Carlos. Principios de Mantenimiento, pág. 44

Tabla 9. Seguimiento Semanal a Mantenimiento.

CODIGO INTERNO	UBICACIÓN	ESTADO 01-08-13	HOROMETRO A 01-08-13	OBSERVACIONES	FECHA ULTIMO PM	HOROMETRO ULTIMOP PM	PROXIMO PM
1	TALLER MECANICA	DOWN	2195	Hacer RQ y enviarla 05-08-13	10/04/13	2127	68
2	SOPORTE HIDRAULICAS	OPERATIVO	1444		07/10/10	1413	31
3	STAND BY REPORTE	OPERATIVO	3696		05/02/13	3539	157
4	TALLER MECANICA	DOWN	246	Se reprograma para 02 de agosto, hubo inconveniente con disponibilidad de personal	14/03/11	245	1
5	REPORTE PLANTA DE AGUA	OPERATIVO	2769		19/03/13	2687	82
6	REPORTE TALADROS 1	En Mantenimiento	6601	Se está realizando PM Taller	10-06-12	6300	301
7	REPORTETALADROS 2	OPERATIVO	2547		25/03/13	2461	86
8	SOPORTE ELECTRICAS	OPERATIVO	7918		04/07/13	7833	85
9	SOPORTE HIDRAULICAS	OPERATIVO	7545		15/07/13	7502	43
10	REPORTE PALAS ELECTRICAS	OPERATIVO	3599		14/03/13	3433	166
11	SOPORTE HIDRAULICAS	OPERATIVO	7924		30/05/13	7674	250
12	TALLER MECANICA	OPERATIVO	1309	trabajara 02 de agosto		1309	0
13	TALLER MECANICA	DOWN	6087	motor operativo, terminara de armar parte eléctrica, 03-08-13	23/01/13	5878	209
14	SOPORTE HIDRAULICAS	OPERATIVO	6388	PM Fin de semana, 03-08-13	19/05/13	6090	298
15	REPORTE SUR	OPERATIVO	5018		06/04/13	4825	193
16	SOPORTE HIDRAULICAS	OPERATIVO	6891		06/06/13	6650	241
17	SOPORTE HIDRAULICAS	OPERATIVO	4026		18/07/13	4010	16

Fuente, Mecanicos Asociados S.A.S, Contrato Soldadura.

#### 5.4 INDICADOR DE DISPONIBILIDAD

La disponibilidad genérica es muy útil cuando se tienen los tiempos totales de funcionamiento y de no funcionalidad, los cuales se miden en forma global (no discrimina los tiempos correctivos, preventivos, predictivos, las demoras o los *Ready Time*), los DT (*Down Time*) se miden al bulto, en este caso no se poseen los tiempos exactos de demoras logísticas, suministros, retrasos, acciones correctivas ni modificativas, tiempos planeados, otros. Es muy útil para empresas

principiantes en el tema de predicción del CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad).<sup>20</sup>

Por estas razones dentro del contrato de Soldadura se empleara como indicador de mantenimiento la disponibilidad Genérica.

La disponibilidad Genérica se calcula con la siguiente fórmula:

$$D_G = \frac{MUT}{MUT+MDT}$$

En donde:

MUT= Es el promedio de los tiempos útiles individuales

MDT= Es el promedio de los tiempos de no disponibilidad

Los MUT en la  $D_G$  solo consideran los tiempos en que el equipo funciona correctamente, como a su vez los MDT contemplan todo lo que genere no disponibilidad o no funcionalidad, los tiempos de paradas previstas o planeadas por mantenimiento (u otra causa) debe descontarse del tiempo en que el equipo puede operar.

---

<sup>20</sup> MORA, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo, ed. Coldi, Segunda ed. 2012, pág. 6

## 6. GESTION DE INVENTARIOS

Los inventarios pueden aparecer por dos razones: uno porque el sitio de fabricación este demasiados lejos del punto de demanda (espacio) y dos, porque la velocidad de fabricación sea inferior a la de demanda (tiempo); en ambos casos el problema se atenúa con la existencia de inventarios.

El origen de los inventarios también tiene su inicio en la teoría de restricciones, donde para que un proceso de mayor capacidad no se detenga, frente a uno anterior de menor volumen por unidad de tiempo, requiere de la presencia de un inventario temporal. La planeación, la ejecución y el control de la logística, en la cadena de suministros, necesitan cantidades exactas de la demanda de bienes y/o servicios que manejan, dado que toda la organización de estas etapas, se fundamenta básicamente en las predicciones o pronósticos de demanda.

La programación y operación de los niveles de demanda ejerce una fuerte influencia en los procesos empresariales de mercadeo, finanzas, capacidad de producción, y en general en la estructura general de la compañía. Sus estimaciones, acertadas o no, son el origen de los agotados, de los excedentes y de los obsoletos que se producen en forma normal en el manejo de inventarios.<sup>21</sup>

### 6.1 GESTIÓN Y MANEJO DE CONSUMIBLES

Los inventarios son almacenamientos de materias primas, repuestos, insumos, productos en proceso o bienes terminados que aparecen a lo largo de la cadena productiva o del proceso logístico de una empresa. En general el costo de mantener los inventarios puede alcanzar cifras insignificantes cercanas hasta del 40% de su valor y representa casi un 15% de la venta total anual de las empresas. De allí la gran importancia de presentar, al menos los criterios básicos y las

---

<sup>21</sup> MORA, Alberto. Pronósticos de Demanda e Inventarios, ed. AMG, Segunda ed. 2012, pág. 261

estrategias fundamentales de manejo de los inventarios, insumos, materias primas, repuestos, productos terminados o en proceso.

La existencia de inventarios, se justifica desde dos hechos posibles:

- La velocidad de demanda es más alta que la producción o aprovisionamiento
- El tiempo de transporte y/o la distancia entre el punto de fabricación o comercialización de productos y el punto donde se consume o donde se requieren para ser usados, son muy grandes.

Entre los distintos beneficios que puede presentar la existencia de almacenes para el manejo de inventarios, están:

- Cercanía de los productos con el demandante
- Prontitud y oportunidad de las necesidades, deseos y requerimientos de los clientes, que permiten elevar fácilmente el nivel de servicio al cliente interno (o externo).
- La variabilidad en los procesos de producción, almacenamiento y transporte se puede atenuar con la existencia de inventarios.
- Servir de amortiguador entre los desfases de producción y de demanda.
- Elevar los manejos de economías de escala, al permitir producir tiempos más largos, lotes más grandes y de mayor nivel de cubrimiento. Al igual favorece los conceptos de economías de escalas en compras, suministros, transporte y de otras áreas de la cadena logística.
- Permiten actuar en el proceso logístico ante fenómenos exógenos temporales, que no permitan la producción o el transporte.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> MORA, Alberto. Pronósticos de Demanda e Inventarios, ed. AMG, Segunda ed. 2012, pág. 263

La situación más compleja en la gestión de inventarios, se da cuando ocurren faltantes o excesos en los volúmenes de existencia en las referencias que se manejan, ambos son dos problemas difíciles de manejar en el almacenamiento: los agotados de por sí generan muchos tropiezos en los procesos logísticos y los excesos atormentan a los financieros de las empresas, en el sentido de que el capital de trabajo está amarrado y no circula, con lo cual se generan posibles pérdidas, pues si estos excesos no se utilizan, se convierten en obsoletos y afectan el capital de la empresa, a la vez que disminuyen la rentabilidad.

Los inventarios se pueden presentar de diversas formas, entre las más relevantes aparecen:

- ❖ De especulación: Cuando se guarda mercancía en espera de su escasez y su aumento de precio.
- ❖ Como protección frente a las fluctuaciones de demanda, como un colchón o amortiguador del tiempo, entre que se produce y el tiempo total del reaprovisionamiento.
- ❖ regulares o estaciones: Atienden la demanda natural de los clientes.
- ❖ De proceso: Es el que fluctúa en las diferencias etapas del proceso integral logístico.
- ❖ De productos muertos u obsoletos: Que se generan por largos tiempos de almacenaje sin demanda, por cambios en las necesidades del consumidor o por cambios tecnológicos.

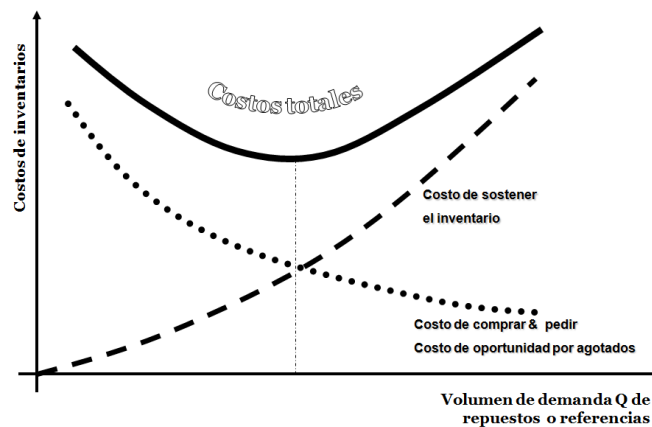
Los dos parámetros básicos a controlar en la gestión y manejo de inventarios son los costos del sostener el mismo y el nivel de servicio que se le otorga al cliente (nivel de disponibilidad).<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> MORA, Alberto. Pronósticos de Demanda e Inventarios, ed. AMG, Segunda ed. 2012, pág. 263

**6.1.1 Costos.** Los principales rubros asociados a los inventarios y a su óptica desde pronósticos, son: de pedir, de sostener el inventario y el costo de oportunidad por agotados en las referencias.

Figura 42. Costos de Inventarios.



Fuente: MORA, Alberto. Pronósticos de Demanda e Inventarios, ed. AMG, Segunda ed. 2012, pág. 264

- **Costos de pedir.** Esta cifra se asocia al mismo hecho de solicitar al proveedor o al fabricante una cantidad definida de referencias, para ser entregadas en un determinado tiempo con unas especificaciones técnicas y de calidad dadas, esto conlleva costos como: procesamiento del pedido, comunicaciones, elaboración de la documentación pertinente, el tiempo de los funcionarios que intervienen, el costo en si de la producción o de las referencias, transacciones bancarias y financieras, transporte (cuando estos no se incluyen en otro concepto ), recursos de los diferentes departamentos internos o externos que facultan la compra y demás coligados. Este rubro normalmente es constante para distintas referencias, puede variar un poco entre categorías, normalmente no están directamente relacionados con el volumen de la compra o pedido.

- **Costos de sostener.** El mantenimiento en sí del inventario, conlleva una serie de costos asociados como: renta o alquiler del espacio físico volumétrico que se ocupa y vacío asignado al almacén o bodega, costo financiero del valor total de la mercancía almacenada en promedio (este es de los rubros más altos que se tienen en cuenta en los costos totales), costos de seguros e impuestos relacionados con el valor y volumen del inventario que se maneja (incluye seguros, riesgos, robos, incendios, terremotos, etc.) y costos por obsolescencia que es el que generan los productos que por alguna razón de tiempo u otra, se deterioran, o dejan ser utilizados por diversas razones.
- **Costos de agotar.** Normalmente la falta de materias primas o productos, cuando estos se demanda y por consecuencia no se pueden entregar a quien los solicita, conlleva a varios costos extras, como son: costo de incumplimiento a los clientes, por la existencia de referencias agotadas, con toda la problemática que ello genera en los clientes, con los impactos negativos que esto causa en el demandante (que a veces es difícil de medir, se toma como un costos de oportunidad de no poder satisfacer al cliente) y el costo de pedidos extras o pendientes, el cual consiste en desarrollar todo un canal logístico paralelo para administrar este tipo de demandas extras (por agotados) por fuera del sistema tradicional, o cuando se pagan cifras adicionales por transporte a por producción para poder atender las solicitudes de pedidos insatisfechos a productores o proveedores. Habitualmente son difíciles de calcular, por lo general se sumen como costos de oportunidad.

**6.1.2 Nivel de Servicio.** El segundo gran objetivo de los inventarios es mantener una disponibilidad suficiente de referencias volúmenes, que logren satisfacer la demanda que se requiere periódicamente; se calcula a partir de las probabilidades de disponibilidad de cada una de las referencias posibles que en forma habitual pide el cliente, también se dan casos de varias referencias en un solo pedido o el caso más complejo es cuando pueden ocurrir varias demandas de diferentes referencias en distintos pedidos en el tiempo, para el mismo cliente.

Las referencias Push siempre deben estar disponibles en el almacén o bodega, una vez se agota el inventario establecido y se llega al nivel de reposición (NP o Nivel de Pedido), se solicita mercancía nuevamente para completar el nivel deseado a mantenerlo en forma permanente. Básicamente esta categoría de Push trabaja contra el nivel real del inventario. Su demanda en la mayoría de las veces tiene patrones de conducta algo similares.

En general se adoptan sistemas de manejo Push cuando las cantidades posibles de producir son superiores a la demanda, en los casos en que se justifican reabastecer los diferentes centros de despacho o almacenamiento.

En general los Push son muy usados cuando predominan en el sistema logístico, los procesos integrales de compra o suministros sobre la distribución o el almacenamiento.<sup>24</sup>

## **6.2 CLASIFICACIÓN ABC**

Un manejo adecuado de los inventarios en cada grupo establecido, implica clasificar todos los productos que se demanda acorde al grado de importancia de los mismos, esto se realiza mediante una clasificación ABC, derivada del principio de Wilfredo Pareto, un renacentista del siglo XIX, quien documenta por primera vez la fundamentación de la administración de materiales, el cual es base del análisis ABC y cuyo principio manifiesta que pocos factores son la causa de muchos de los efectos.

---

<sup>24</sup> MORA, Alberto. Pronósticos de Demanda e Inventarios, ed. AMG, Segunda ed. 2012, pág. 263

El principio ABC jerarquiza los productos o insumos acorde a la cantidad de unidades usadas y al precio de las mismas, el concepto del monto económico que representa el consumo durante un periodo de tiempo es el concepto más importante para definir la categoría A o B o C.

- **Tipo A**, se mantiene un excelente nivel de inventarios en todos los almacenes o en los puntos de entrega que existan. Lo ideal es que para productos de los cuales se maneja un fondo de reserva en cada periodo lectivo, se deje un 1.25 veces la demanda, con la aclaración de que esta demanda debe ser calculada como un promedio entre la demanda normal de los últimos meses y el pronóstico de los siguientes periodos, la ventaja que tiene este método de estimación de la demanda promedio en función de las previsiones, es que tiene en cuenta el pasado y a su vez el futuro, de lo que ocurre en los siguientes lapsos de tiempo.
- **Tipo B**, son referencias que se mantienen en niveles medio de inventarios solo en algunos almacenes. Lo adecuado es mantener al final de cada periodo evaluado unas 0.75 veces la demanda promedio (en función de los pronósticos).
- **Tipo C**, son artículos a los cuales no se les mantiene buenos márgenes de inventarios y en caso de hacerlo sólo se tienen en uno que otro almacén (si hay varios), cuando solo hay uno se pide cuando se requiere. Se recomienda no mantener más de 0.35 veces de la demanda promedio .

La estimación de la cantidad de pedido optima en las referencias Push, se realiza mediante la aplicación de la siguiente fórmula que optimiza los costos de almacenamiento y manejo del inventario.

Cantidad optima a pedir, con el mínimo costo para reponer inventarios.

$$Q = \sqrt{\frac{2 * D * S}{I * C}}$$

Donde:

**Q** = Tamaño del pedido a realizar para reponer el inventario deseado, de la referencia requerida.

**D** = Demanda anual del artículo en reposición, el cual sucede a una tasa promedio conocida o que se puede pronosticar con series temporales.

**S** = Costo de adquirir, es decir es el costo de lanzar un pedido, en unidades monetarias por pedido.

**C** = Costo de una unidad del artículo en estudio; también se puede definir también como el valor de una unidad de la referencia en reposición. En unidades monetarias por artículo.

**I** = Costo del manejo de la referencia en las bodegas o almacenes, se define normalmente como un porcentaje del valor del artículo, se trabaja en porcentajes costo por año.<sup>25</sup>

El número óptimo de pedidos por año es:

$$N = \frac{D}{Q}$$

Y el tiempo óptimo entre pedidos es

$$T = \frac{Q}{D}$$

---

<sup>25</sup> MORA, Alberto. Pronósticos de Demanda e Inventarios, ed. AMG, Segunda ed. 2012, pág. 278

## 7. CONCLUSIONES

El análisis de Pareto nos permitió identificar claramente los malos actores, a través de los registros de fallas incluidos en las bases de datos disponibles, que se encontraban afectando la disponibilidad de los motosoldadores.

La implementación de la metodología de análisis causa raíz a las principales fallas presentadas en los moto soldadores del Contrato de Soldadura permitió desarrollar un proceso ordenado de análisis con el cual se logró identificar las verdaderas causas raíces de los problemas.

La aplicación de la metodología análisis causa raíz requiere que la información recolectada sea lo más detallada posible. Las evidencias deben ser tomadas de la mejor manera ya que estas permiten que se dé o no la validación de las causas posibles.

Una vez identificadas las causas raíz se debe implementar soluciones que permitan obtener resultados a corto plazo y sobre todo que sea viable económicamente, además se debe realizar seguimiento y monitoreo a las medidas adoptadas.

Se estableció una rutina de mantenimiento donde se involucra recomendaciones del fabricante, tareas de mantenimiento resultado del análisis de las fallas y tareas basadas en la experiencia del equipo de mantenimiento actual.

En conjunto con Gerencia, el supervisor de mantenimiento realizara reuniones semanales de seguimiento a las actividades de mantenimiento, donde se revisara los mantenimientos Preventivos realizados, tareas correctivas más importantes y disponibilidad de equipos dejando consignada la información en un acta.

## BIBLIOGRAFIA

BORRAS, Carlos. Principios de Mantenimiento, Col 2011

BORRAS, Carlos. Mantenimiento Preventivo, Col 2012

CERREJON, Informe de Progreso de Cerrejón (Pacto Mundial) – 2006, p. 6.

GARCIA, Oliverio. El Análisis Causa Raíz, Estrategia de Confiabilidad Operacional, Conferencia y exhibición Reliability Word Latín América. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2005.

GONZALES, Carlos. Seminario de investigación en metodologías de análisis de fallas. Et al 2009 UIS

MORA, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo, ed. coldi, Segunda ed. 2012.

MORA, Alberto. Pronósticos de Demanda e Inventarios, ed. AMG, Segunda ed. 2012

## ANEXO A EQUIPO RCA

### 1. FACILITADOR



### 2. TECNICO 1



### 3. TECNICO 2


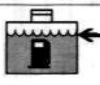






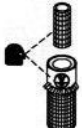


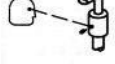


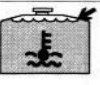


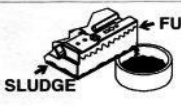





### 4. INGENIERO MECANICO



## ANEXO B.

### RUTINA MANTENIMIENTO DE FABRICANTE

🕒	✓ = Check * To be done by Factory Authorized Service Agent	◇ = Change	○ = Clean	☆ = Replace
Every 8 Hours	 ✓ Fuel/Water Separator	 ✓ Fuel Level	 ✓ Oil Level	 ○ Oil, Fuel Spills
	 ✓ Coolant Level			
Every 50 Hours	 ○ Weld Terminals			
Every 100 Hours	 ○ Battery Terminals	 ✓ Air Cleaner Hoses	 ✓ Air Cleaner Element	
Every 250 Hours	 ☆ Unreadable Labels	 ✓ Fan Belt Tension	 ✓ Spark Arrestor	
Every 500 Hours	 ✓ ☆ Weld Cables	 ◇ Oil ◇ Oil Filter		
Every 1000 Hours	 ✓ Radiator Fluid Level	 ○ Inside Unit	 ◇ Fuel Filter	 ○ Drain Sludge
	 ✓ Slip Rings* ✓ ☆ Brushes*	 ✓ Valve Clearance*		
Every 2000 Hours	 ○ Injectors*			

Fuente: Manual del Operario. Motosoldador Big Blue 600X

