

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO MECÁNICA



**“MEJORAS EN LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
DE LAS PALAS P&H UBICADAS EN EL CUADRILÁTERO FERRÍFERO
SAN ISIDRO DE C.V.G. FERROMINERA ORINOCO, C.A., CIUDAD PIAR”**

REALIZADO POR:

YOJAN ANDRÉS BLANCO GARCÍA

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO ANTE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

Puerto La Cruz, Junio de 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



**“MEJORAS EN LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
DE LAS PALAS P&H UBICADAS EN EL CUADRILÁTERO FERRÍFERO
SAN ISIDRO DE C.V.G. FERROMINERA ORINOCO, C.A., CIUDAD PIAR”**

Prof. Delia Villarroel

Asesor Académico

Firma

Ing. Jesús Suárez

Asesor Industrial

Firma

Puerto La Cruz, Junio de 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO MECÁNICA



**“MEJORAS EN LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
DE LAS PALAS P&H UBICADAS EN EL CUADRILÁTERO FERRÍFERO
SAN ISIDRO DE C.V.G. FERROMINERA ORINOCO, C.A., CIUDAD PIAR”**

Prof. Delia Villarroel
Asesor Académico

Prof. Darwin Bravo
Jurado Principal

Prof. Luis Griffith
Jurado Principal

Puerto La Cruz, Junio de 2009

RESOLUCION

De acuerdo con el reglamento de Trabajos de Grado de la Universidad de Oriente:

“Los trabajos de Grado son propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, el cual participará al Consejo Universitario”

DEDICATORIA

A Dios, por concederme una de mis principales metas y estar conmigo incondicionalmente, dándome fortaleza y sabiduría para afrontar todos los obstáculos que se me presentaran en la vida.

A mis padres Víctor Blanco y Nilza García por educarme, por guiarme por los buenos caminos, por orientarme en los momentos más cruciales de mi vida y sobre todo por la confianza que depositaron en mí y sé que están orgullosos de mí.

A mi abuela Aída Rodríguez por enseñarme todas las cosas bonitas de la vida y comprenderme en los momentos más duros de mi vida, solo le pido a Dios que te de la salud para compartir más tiempo contigo.

A mis Hermanos: Richard Blanco, Víctor Blanco, Nilza Blanco, para que les sirva de experiencia, de estímulo y de ejemplo en su vida futura.

A una persona muy especial que es parte de mi vida Maricar Anato (Mi Princesa) por haber estado a mi lado en esta etapa final llenándome de confianza, optimismo y de mucha sabiduría: “Por tu apoyo incondicional y constante, por tu confianza, por llenarme de dicha, de felicidad y sobre todo por brindarme ese cariño tan particular”.

En último lugar dedico todo este trabajo a todo el esfuerzo que he realizado para alcanzar esta meta y haber cumplido con todas las expectativas fijadas hasta el momento, a MÍ.

Yojan Andrés Blanco García

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme la existencia y la gracia maravillosa de la vida, por estar en los momentos más difíciles y ayudarme en todo momento, por ser la luz que me guía en camino de paz.

A mis padres, por ser las personas maravillosas que son, por cuidar de mí y haberme dado la vida.

A todos mis familiares que en algún momento fueron partícipes en la realización de mi carrera universitaria y la persona que soy.

A una persona extraordinaria, cariñosa, tolerante y especial que he conocido, que ha estado en todos los momentos buenos y malos en mis estudios universitarios Anabel León.

A mi tutor académico Delia Villarroel, por brindarme todo el apoyo para la realización de éste trabajo de grado y por ser los excelentes profesores y amigos que son.

A dos personas que compartieron conmigo muchas horas de estudio, alegrías, celebraciones y vivienda, Roger Pereira y Pedro Anato amigos.

A mi tutor industrial Ing. Jesús Suárez y Alides Bartolozzi, por dedicarme parte de su tiempo en la orientación y elaboración de este trabajo y considerarme como un amigo más.

A la empresa CVG FERROMINERA ORINOCO C.A., por contribuir en la formación académica, permitiéndome realizar mi tesis de grado en sus instalaciones y a todas aquellas personas que allí laboran, que de alguna u otra manera ayudaron en el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros de trabajos, Ing. Dixon Martínez, Ing. Luís Carvajal, T.S.U Yukency Lara, T.S.U Juan Campos y una amiga incondicional Karem Dayana (kata).

RESUMEN

El presente trabajo de grado consistió en proponer mejoras en las actividades de mantenimiento preventivo en base al Análisis de Causa Raíz, de la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL, ubicada en el Cuadrilátero Ferrífero San Isidro de C.V.G Ferrominera Orinoco C.A., con el fin de aumentar la disponibilidad del equipo y darle mayor rendimiento, cumpliendo de esta manera los niveles de calidad y de seguridad requeridos por la empresa. Para lograr dichas mejoras, la investigación fue dividida en cuatro (4) partes principales, las cuales fueron: diagnóstico a los componentes de cada uno de los sistemas que conforman la Pala en su contexto operacional, posteriormente se hizo un análisis de criticidad para jerarquizar a los sistemas de acuerdo a su impacto en la producción, seguridad y medio ambiente, luego se determinaron las fallas críticas, una vez conocidas las fallas y el sistema crítico, se evaluaron las posibles causas de éstas utilizando el análisis de causa raíz, a partir del cual se formularon las acciones de mantenimiento. Los resultados reflejaron que a pesar de que la pala cuenta con un plan de mantenimiento, las condiciones de operación de los sistema de excavación y de giro son críticas, además de que los niveles de limpieza de los equipos son muy bajos; asimismo se obtuvo que el sistema crítico resultó ser el de excavación, mientras que el diagrama de Pareto determino que las fallas críticas que se presentan en el sistema de excavación son las fallas en el motor, freno, cremallera, eje y rotura de la guaya, así mismo se determinó que tanto las fallas en el freno, cremallera y eje son debidas a la falta de lubricación y ajuste de los componentes mecánicos producto de la inoperatividad del Controlador Lógico Programable PLC, mientras que las otras son debidas a un incumplimiento de las actividades de mantenimiento preventivo.

CONTENIDO

PÁGINA DE TITULO	¡Error! Marcador no definido.
ARTÍCULO 44	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN.....	viii
CONTENIDO	ix
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
CAPITULO I.....	17
EL PROBLEMA	17
1.1 Reseña histórica la empresa Ferrominera Orinoco C.A., generalidades.....	17
1.1.1. Ubicación geográfica de Ferrominera Orinoco C.A., Centro de oeraciones ciudad Piar.....	19
1.1.2. Estructura organizativa	21
1.1.3 Proceso de producción del mineral de hierro.....	22
1.1.4 Procesamiento del mineral de hierro.....	26
1.1.5 Operaciones ferroviarias	27
1.1.6 Planta de pellas.....	28
1.1.7 Comercialización del mineral de hierro	29
1.2 Planteamiento del problema.....	30
1.3 Objetivos de la investigación	33
1.3.1 Objetivo general.....	33
1.3.2 Objetivos específicos	33
1.4 Justificación de la investigación.....	34
CAPITULO II	35
MARCO TEÓRICO.....	35

2.1. Antecedentes	35
2.2. Bases teóricas	36
2.2.1. Definición de mantenimiento	36
2.2.1.1. Tipos de mantenimiento	37
2.2.2. Planificación y frecuencia de mantenimiento	38
2.2.2.1. Sobre-mantenimiento	39
2.2.2.2. Bajo-mantenimiento	39
2.2.3. Contexto operacional	40
2.2.4. Proceso de diagnóstico	40
2.2.5. Confiabilidad operacional	42
2.2.6. Fallas o averías	44
2.2.6.1. Fallas de acuerdo a su alcance	45
2.2.6.2. Fallas de acuerdo a su impacto	46
2.2.6.3. Fallas por su dependencia	47
2.2.7. Fallas de mantenimiento	47
2.2.8. Análisis de falla	49
2.2.9. Análisis de pareto (análisis ABC)	50
2.2.10. Análisis causa raíz (ACR)	54
2.2.11. Conformación del equipo natural de trabajo (ENT)	61
2.2.12. Análisis de criticidad (AC)	63
CAPITULO III	69
MARCO METODOLÓGICO	69
3.1. Tipo y diseño de investigación	69
3.2. Población y muestra	71
3.2.1. Población	71
3.2.2. Muestra	71
3.3. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	72
3.3.1. Observación directa	72
3.3.2. Entrevista directa al personal del área	73

3.3.3. Consultas directas de fuentes de archivos.....	73
3.3.4 Manejo de programas de computación	74
3.4 Etapas de la investigación.....	74
3.4.1. Fase 1: Revisión bibliográfica.....	74
3.4.2. Fase 2: Diagnóstico de la situación actual de los componentes de la pala P&H modelo 2100 BL, en su contexto operacional.....	75
3.4.3. Fase 3: Determinación de las fallas críticas, a través de la técnica del diagrama de pareto	76
3.4.4. Fase 4: Análisis de las causas que originan las fallas críticas por medio de la técnica de Causa Raíz.....	80
3.4.5. Fase 5: Proposición de mejoras a las actividades de mantenimiento preventivo en base a los resultados obtenidos del análisis de causa Raíz.....	81
CAPITULO IV.....	82
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	82
4.1. Diagnostico de la situación actual de los componentes de la pala P&H modelo 2100 BL, en su contexto operacional.....	82
4.1.1 Sistemas y componentes de la pala eléctrica P&H modelo 2100 BL.	83
4.1.1.1 Unidades motrices.....	86
4.1.1.2 Sistema de elevación.....	89
4.1.1.3 Aditamentos	91
4.1.1.4 Sistema de excavación	94
4.1.1.5 Sistema de giro.....	97
4.1.1.6 Sistema de yraslado.....	100
4.1.1.7 Sistema neumático	102
4.1.1.8 Sistema de lubricación	105
4.2. Conformación del equipo natural de trabajo (ENT)	106
4.3 Análisis de criticidad. Matriz impacto – esfuerzo.....	108
4.4. Determinación de las fallas críticas, a través de la técnica de diagrama de pareto.....	111

4.5 Análisis de las causas que originan las fallas críticas en el sistema de excavación.....	116
4.6. Propuesta de mejoras en las actividades mantenimiento preventivo del sistema de excavación en base a los resultados obtenidos del análisis de causa raíz.	129
4.6.1. Mejoras a las actividades de mantenimiento preventivo del motor de excavación.....	130
4.6.2. Mejoras a las actividades de mantenimiento preventivo del freno del motor de excavación, eje de mando de los brazos del balde y conjunto de abrir la puerta del balde	134
4.6.3 Propuesta de un procedimiento para la activación del controlador lógico programable (PLC)	138
CAPITULO V	141
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	141
5.1. Conclusiones	141
5.2. Recomendaciones.....	143
BIBLIOGRAFÍA	144
APÉDICES.....	¡Error! Marcador no definido.
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO	146

LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1. Sistemas y Componentes Principales de la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL.....	85
Tabla 4.2. Distribución del equipo natural de trabajo.....	107
Tabla 4.3. Escala impacto-esfuerzo para los sistemas de la pala P&H modelo 2100 BL.....	109
Tabla 4.4. Niveles de prioridad para los sistemas de la pala P&H modelo 2100 BL.....	110
Tabla 4.5. Principales fallas que presentan los sistemas de la pala P&H modelo 2100 BL.....	112
Tabla 4.6. Clasificación de las fallas críticas para cada sistema que componen la pala eléctrica P&H modelo 2100 BL.....	114
Tabla 4.7. Extracto de ítems referente al motor de excavación de la planilla de mantenimiento FERRO-4800 03/98, Parte Eléctrica: Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL.....	130
Tabla 4.8. Propuestas de mejoras para las actividades de mantenimiento del motor de excavación.....	133
Tabla 4.9. Propuestas de mejoras para las actividades de mantenimiento del freno del motor de excavación	135
Tabla 4.10. Propuestas de mejoras para las actividades de mantenimiento del eje de mando de los brazos del balde.	136
Tabla 4.11. Propuestas de mejoras para las actividades de mantenimiento del conjunto de abrir la puerta del balde.....	137
Tabla 4.12. Propuesta de un procedimiento para el restablecimiento del programa del PLC de la pala eléctrica P&H modelo 2100 BL	140

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación geográfica del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro.....	20
Figura 1.2. Ubicación de las áreas de operaciones de la empresa.....	21
Figura 1.3. Estructura organizativa de Ferrominera Orinoco C.A.....	22
Figura 1.4. Proceso de perforación	24
Figura 1.5. Proceso de voladura.....	24
Figura 1.6. Proceso de excavación.....	25
Figura 1.7. Proceso de acarreo	25
Figura 1.8. Proceso de transporte.....	26
Figura 1.9. Comercialización del mineral de Hierro a nivel Nacional.....	30
Figura 1.10. Comercialización del mineral de Hierro a nivel Internacional.....	30
Figura 2.1 Representación esquemática de los tipos de mantenimiento.....	37
Figura 2.2 Contexto operacional.....	40
Figura 2.3. Factores que determinan la confiabilidad operacional.....	44
Figura 2.4. Ejemplo de una gráfica o diagrama de pareto.....	52
Figura 2.5. Estructura del árbol lógico de falla.....	55
Figura 2.6. Guía de impacto área de operación y mantenimiento.....	65
Figura 2.7. Escala impacto- esfuerzo.....	66
Figura 2.8. Matriz de prioridades.....	67
Figura 2.9. Ubicación en la matriz de prioridades	67
Figura 2.10 Formato para registrar y clasificar eventos.....	68
Figura 3.1. Procedimiento utilizado para dar solución a la problemática descrita.	76
Figura 3.2. Sistema de reporte de falla para la pala eléctrica P&H modelo 2100 BL	78
Figura 3.3. Sistema de reporte de fallas para la pala eléctrica P&H modelo 2100 BL (Modificar Fallas).....	79

Figura 3.4. Sistema de reporte de fallas para la pala eléctrica P&H modelo 2100 BL	80
Figura 4.1. Estándar de funcionamiento del motor principal.....	87
Figura 4.2. Conjunto de la caja de cadenas.....	88
Figura 4.3. Estándar de funcionamiento de los generadores de giro, traslado / excavación.....	88
Figura 4.4. Acoples utilizados para conectar los diferentes mecanismos de la excavadora.....	89
Figura 4.5. Sistema de elevación.....	90
Figura 4.6. Características de la maquinaria del mecanismo de elevación.....	91
Figura 4.7. Aditamentos y características técnicas de los cables de la excavadora....	93
Figura 4.8. Maquinaria y estándar de funcionamiento del motor de excavación	94
Figura 4.9. Características técnicas de la maquinaria de excavación.....	95
Figura 4.10 Conjunto y estándar de funcionamiento del motor de desenganche de la puerta del balde.....	96
Figura 4.11. Estándar de funcionamiento del motor de giro.....	98
Figura 4.12. Características del conjunto de la maquinaria de giro.....	99
Figura 4.13. Estándar de funcionamiento del motor de traslado.....	101
Figura 4.14. Características del conjunto de la maquinaria impulsora.....	102
Figura 4.15. Estándar de Funcionamiento del Motor del Compresor.....	103
Figura 4.16. Vista del controlador lógico programable (PLC) y bombas de grasa para engranajes abiertos.....	106
Figura 4.17. Diagrama de pareto por demoras, período Mayo 2.007- Mayo 2.008..	112
Figura 4.18. Relación entre las fallas presentes en función del tiempo de demora. .	115
Figura 4.19. Pérdidas de carga del mineral de hierro asociadas a cada falla en el periodo de Mayo 2.007 – Mayo 2.008.....	116
Figura 4.20. Representación mediante el árbol lógico de fallas dividido en bloques.	117
Figura 4.21. Bloque A del árbol lógico de fallas.....	118

Figura 4.22. Ducto de ventilación del motor de excavación.....	120
Figura 4.23. Bloque B del árbol lógico de fallas.....	121
Figura 4.24. Bloque C del árbol lógico de falla.....	123
Figura 4.25. Desgaste acelerado y picado de los dientes de las cremalleras de los brazos del balde.....	124
Figura 4.26. Fractura por fatiga de las pestañas de los bloques de soporte de los brazos del balde.....	124
Figura 4.27. Bloque D del árbol lógico de falla.....	126
Figura 4.28. Bloque E del árbol lógico de falla.....	128
Figura 4.29. ACR realizado a las fallas críticas del sistema de excavación de la pala eléctrica P&H modelo BL.....	129

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 Reseña histórica la empresa Ferrominera Orinoco C.A., generalidades

En 1.926, fue descubierto el cerro El Pao, en aquel entonces, el señor Arturo Vera, quien tenía un fundo en Las Adjuntas, encuentra un canto de roca negra, brillante, dura y pesada, que lleva a su casa y utiliza para amolar machetes. Simón Piñero, empleado de la firma Boccardo de Ciudad Bolívar, acompaña más tarde a Vera hasta el Cerro Florero, donde obtienen muestras suficientes para enviar a los Estados Unidos.

En 1.933, la Bethlehem Steel Co, hace las primeras perforaciones y se constituye la Iron Mines Company of Venezuela. Fue en 1.939, como resultado del potencial ferrífero de la región, el ejecutivo decreta zona reservada para la exploración y explotación del mineral de hierro los distritos Piar y Roscio del Estado Bolívar y el Territorio Federal Delta Amacuro. En 1.945, la Oliver Iron Mining Co, subsidiaria de la U.S. Steel, inicia la exploración al este del Caroní, bajo la dirección del geólogo Mack C. Lake.

En la tarde del 4 de abril de 1.947, en la cumbre de un cerro conocido como “La Parida”, una expedición guiada por Eugenio “El Cabo” Suárez, nativo de El Palmar y un grupo de exploradores dirigidos por el geólogo norteamericano Mack C.Lake de la

compañía Oliver Mining Company, descubrió un reservorio de mineral de hierro, calificado como el yacimiento de hierro más grande del mundo y considerado como el hallazgo ferrominero más importante del siglo XX. Siendo rebautizado al año siguiente con el nombre de Cerro Bolívar. Tomando en cuenta que el Cerro Bolívar era el mayor yacimiento del mundo para la época, podemos decir que fue el precursor del desarrollo de la zona del hierro. Es así como el 30 de diciembre de 1.949, se constituye, en Ciudad Bolívar, la empresa Orinoco Mining Company (OMC), subsidiaria de la corporación Estado Unidense U.S. Steel, cuyo objetivo era producir mineral de hierro de invariable calidad a mínimo costo y a precios de competencia en el mercado mundial. El señor Mack C. Lake es designado como su primer presidente.

El 24 de julio de 1.950, es cargado el primer tren de mineral que efectúa el recorrido entre El Pao y Palúa. En 1.952, la empresa inicia las obras de construcción sobre el río Caroní, la vía Férrea, la carretera a Ciudad Piar e inicia el dragado del río Orinoco, en estos inicios se coloca la primera piedra de Puerto Ordaz. En 1.954, se inauguran las operaciones de la Orinoco Mining Company. El 9 de Enero, zarpa el buque Tosca con el primer cargamento comercial de mineral de hierro (6.055 toneladas de mineral de hierro proveniente del cerro Bolívar) con destino a la planta Estado Unidense Fairless Works, de la U.S. Steel. Ese año se exportaron 3 millones de toneladas.

En 1.968, se inicia la construcción de la planta de briquetas de la Orinoco Mining Company. El 1 de enero de 1975, queda nacionalizada la industria del hierro en Venezuela (etapa en transición). El 3 de enero, zarpa el buque Tyne Ore con una carga de 17.417 toneladas de mineral de hierro con destino a Estados Unidos, el primer embarque después de la nacionalización. El 1 de enero de 1.976, la Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G) Ferrominera Orinoco inicia oficialmente sus operaciones como resultado de la nacionalización de las empresas Orinoco Mining Company y Iron Mines Company of Venezuela, subsidiarias de la

U.S. Steel y la Bethlehem Steel Company, respectivamente, las cuales operaban en el país desde comienzos de la década de los años 50.

1.1.1. Ubicación geográfica de Ferrominera Orinoco C.A., Centro de operaciones ciudad Piar

La empresa se encuentra distribuida geográficamente en el distrito Ferrífero Piar y Ciudad Guayana (Puerto Ordaz – San Félix) y la zona industrial Matanzas. Los yacimientos San Isidro, Los Barrancos, Las Pailas y San Joaquín, se encuentran ubicados en los alrededores de Ciudad Piar, Municipio Autónomo Raúl Leoni, entre las coordenadas 10.000 y 25.000 Latitud Norte y 25.500 y 500 Longitud Este, comprendidos entre Ciudad Guayana y Ciudad Bolívar (a unos 130 y 125 kilómetros respectivamente) con reservas probadas de 700 millones de toneladas (Ver figura 1.1), es allí donde se efectúan todas las operaciones relacionadas con la exploración geológica, planificación, desarrollo, explotación y transporte hacia los puertos de tratamiento de mineral de hierro.

El tratamiento, almacenamiento y despacho de mineral de hierro se realizan en las instalaciones de P.M.H (Procesamiento de Mineral de Hierro) y en los muelles de Puerto Ordaz, ubicados en las riberas de los ríos Orinoco y Caroní. La sede administrativa de la empresa se localiza en la vía Caracas, Edificio administrativo N° 2, Puerto Ordaz, Estado Bolívar, Venezuela.



Figura 1.2. Ubicación de las áreas de operaciones de la empresa.

Fuente: Gerencia de Minería de C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A.

1.1.2. Estructura organizativa

La empresa C.V.G Ferrominera Orinoco C.A., cuenta con la Estructura Organizativa mostrada en la figura 1.3.

- **Exploración:** Es el paso inicial en la explotación del mineral de hierro, la cual consiste en la prospección y exploración de los yacimientos, con el propósito de identificar la cantidad de recursos así como sus características físicas y químicas. Para este fin se utilizan herramientas que van desde la exploración de campos y estudios de manto por medio de perforaciones, hasta la información ostensible a través de aerografía y satélites.
- **Perforación:** La perforación tiene como finalidad formar los hoyos donde se colocan los explosivos, que al ser detonados fracturan al mineral facilitando su remoción. Esta operación se realiza por medio de taladros eléctricos rotativos con barrenos de 9 metros. El diámetros de perforación varia de 31 a 38 centímetros y la profundidad promedio de perforación es de 17.5 metros, la cual permite formar bancos de explotación de 15 metros de altura en forma escalonada permitiendo el acarreo del mineral. (Ver figura 1.4)
- **Voladura:** Se utiliza como explosivo el ANFUL, sustancia compuesta por 94% de nitrato de amonio, mezclado con 6% de gasoil y el ANFOAL compuesto por 87% de nitrato de amonio, 3% de gasoil y 10% de aluminio metálico. Con ambos explosivos se carga hoyo de 750 kilogramos, en una proporción de 70% y 30% de Anful y Anfoal respectivamente. (Ver figura 1.5)



Figura 1.4. Proceso de perforación

Fuente: www.ferrominera.com



Figura 1.5. Proceso de voladura

Fuente: www.ferrominera.com

- **Excavación:** Luego de fracturado el mineral por efecto de la voladura, es removido por Palas desde los frentes de producción. Se cuenta con tres Palas Eléctricas de $10,70 \text{ m}^3$ y 2 palas hidráulicas de 26 m^3 de capacidad de carga en el balde, y luego vaciados en camiones roqueros de alta capacidad. (Ver figura 1.6)



Figura 1.6. Proceso de excavación

Fuente: www.ferrominera.com.

- **Acarreo:** Se cuenta con 22 camiones, entre los que hay de 90 toneladas de capacidad que se encargan de acarrear el mineral para depositarlo en vagones góndola ubicados en las plataformas o muelles de carga. El suministro de mineral de hierro a la Planta de Trituración Los Barrancos se realiza con camiones de 170 toneladas. (Ver figura 1.7)



Figura 1.7. Proceso de acarreo

Fuente: www.ferrominera.com.

- **Transporte:** Los vagones góndola, una vez cargados en los muelles de las minas, son llevados al patio de ferrocarril donde se conforman trenes con tres locomotoras de 2.000 caballos de fuerzas (HP) y 125 vagones de 90 toneladas, para

luego ser trasladados hacia Ciudad Guayana a una distancia de 136 kilómetros. Al llegar el tren a Puerto Ordaz se distribuyen por grupos de acuerdo a los requerimientos de las pilas del mineral homogenizado.(Ver figura 1.8)



Figura 1.8. Proceso de transporte

Fuente: www.ferrominera.com.

1.1.4 Procesamiento del mineral de hierro

Al llegar a Puerto Ordaz, los trenes cargados con mineral no procesado proveniente de la mina con granulometría de hasta 10 centímetros, son seccionados en grupos de 35 vagones, que luego son vaciados individualmente, mediante un volteador de vagones con capacidad para 60 vagones por hora. Una vez volteados los vagones, el mineral es transferido al proceso de trituración para ser reducido al tamaño máximo de 3.2 centímetros.

- **Cernido:** Luego de la etapa de trituración, el mineral fino se transporta hacia las pilas de homogeneización y el grueso hacia la Planta de Secado, de allí va a los patios de almacenamiento de productos gruesos.

- **Homogeneización y Transferencia:** En esta etapa, el mineral fino es depositado en capas superpuestas hasta conformar pilas homogeneizadas de acuerdo con las especificaciones de cada producto, de allí el producto es despachado a los clientes o transferido hacia los patios de almacenamiento, los cuales están ubicados en: Pila Norte (Finos), Pila Sur (Gruesos), Pila Principal (Finos y Pellas) y Pila Clientes Locales (Gruesos y pellas).

- **Despacho:** El producto destinado para la exportación se encuentra depositado en las pilas de almacenamiento en Puerto Ordaz y en la Estación de Transferencia. El embarque de mineral se realiza por medio de sistemas de carga compuestos básicamente por equipos de recuperación y carga de mineral, correas transportadoras y balanzas de pesaje, para registrar la cantidad de mineral despachada.

1.1.5 Operaciones ferroviarias

- **Sistema Ferroviario:** Comprende las redes de las vías férreas de Puerto Ordaz - Ciudad Piar, interconexión Puerto Ordaz con el Puerto de Palúa, la red ferroviaria hacia las plantas de reducción directa en el Sector Industrial de Matanzas (Sidor, Planta de Pellas de Ferrominera, Orinoco Iron, Comsigua y Posven). Con un total de 320 Km de vía férrea, constituye la mayor red ferroviaria del país.

- **Recursos:** Anualmente se transporta alrededor de 30 millones de toneladas de mineral de hierro no procesado, fino, grueso, pellas y briquetas hacia y desde las plantas siderúrgicas lo cual se realiza con 38 locomotoras con potencias que oscilan entre 1.750 y 2.000 HP (caballos de fuerza) de capacidad y 1.784

vagones: 1.300 vagones góndola de 90 toneladas de capacidad, para el transporte de mineral desde las minas, 467 vagones tolva o de descarga por el fondo, para el transporte de mineral fino, pellas y briquetas y 17 vagones de volteo lateral, para el transporte de mineral grueso.

- **Control de Operaciones:** El control central de las operaciones se realiza con un sistema de tráfico centralizado (STC) y un sistema de tráfico automático de bloques. La comunicación se realiza mediante radio enlace. Todas las operaciones son controladas desde la oficina central en Puerto Ordaz.
- **Características de la vía férrea:** La carga máxima por eje es de 32,5 toneladas, la pendiente máxima es de 3,1 % y la mínima 0,045 %. La trocha o ancho de la vía es de 1.435 milímetro. La velocidad máxima permitida para el tráfico actual es de 45 Kilómetros por hora en trenes cargados y 55 Kilómetros por hora en trenes vacíos.

1.1.6 Planta de pellas

La Planta de Pellas de la C.V.G Ferrominera Orinoco, C.A., está ubicada dentro del complejo industrial Punta Cuchillo, área industrial Matanzas, en Puerto Ordaz. Esta planta es del tipo “parrilla – horno rotatorio” (grate – kiln), inició sus operaciones en el año 1.992, fue construida originalmente con una capacidad de producción nominal de 3.3 millones de toneladas por año de pellas para reducción directa y/o para altos hornos. La construcción se ejecutó con recursos propios de FERROMINERA y financiamiento privado. La planta y sus productos son 100% propiedad de C.V.G Ferrominera Orinoco, C.A., quien ha contratado los servicios de

una empresa operadora (Topp C.A.) para la administración de la planta, la producción, los despachos y el mantenimiento de las instalaciones.

Como parte de los proyectos de inversión de Ferrominera está prevista la ampliación de la capacidad de esta línea a 4.0 millones de toneladas al año, existiendo adicionalmente la infraestructura de espacio y servicios para construir una segunda línea, para lo cual Ferrominera está promoviendo la conformación de asociaciones estratégicas donde participen inversionistas privados nacionales y extranjeros.

1.1.7 Comercialización del mineral de hierro

La capacidad de producción de Ferrominera Orinoco C.A., está en el orden de los 25 millones de toneladas al año. Las negociaciones de venta de mineral de hierro se han extendido a clientes del mercado Europeo, América del norte, mercado Asiático, Sur América y del Caribe, contando con un número aproximado de veinticinco (25) clientes, siendo los principales: Sidor, Orinoco Iron, Comsigua, Venprecar en el mercado Nacional, Gult States Steel en Norte América, Caribbean Ispat en el Caribe, Marubeni-Mitsubishi en Asia y British Steel, Hoogovens, Sidmar, Aceralia, Acerías de Cornigliano y Kremikovtzi en Europa, entre otros. En las figuras 1.9 y 1.10 se muestran los esquemas de comercialización del mineral de hierro tanto nacional como internacionalmente.

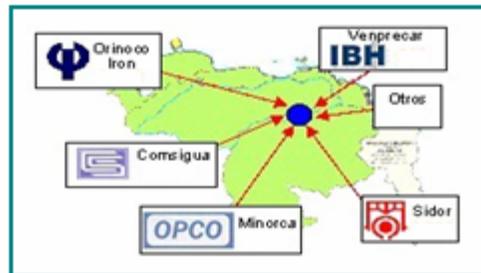


Figura 1.9. Comercialización del mineral de Hierro a nivel Nacional.

Fuente: www.ferrominera.com.

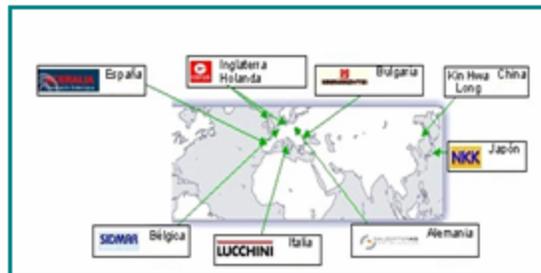


Figura 1.10. Comercialización del mineral de Hierro a nivel Internacional.

Fuente: www.ferrominera.com.

1.2 Planteamiento del problema

La Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G) Ferrominera Orinoco C.A., se dedica a la extracción, procesamiento, comercialización y venta de mineral de hierro y sus derivados en el territorio venezolano. Cuenta con dos centros de operaciones: Ciudad Piar, donde se hallan los principales yacimientos de mineral de hierro y Puerto Ordaz, donde se encuentra la planta de procesamiento de mineral de hierro, la planta de pellas, muelles y oficinas principales. Provee a cinco plantas de reducción directa ubicadas en Puerto Ordaz y además exporta a diversos países ubicados en Europa, Asia y América Latina. Cuenta con una capacidad instalada de producción de

25 millones de toneladas por año (25.000.000 Ton/Año) y una explotación continua en las minas a cielo abierto, ubicadas en el Estado Bolívar. La explotación del mineral de hierro, se realiza en el cuadrilátero Ferrífero San Isidro, el cual está comprendido por cuatro minas: San Isidro, Las Pailas, Los Barrancos y San Joaquín; donde la producción del mineral de hierro se ejecuta en base a la cantidad, calidad de las reservas y las demandas exigidas por los clientes, y en función de ello se realizan los planes de minas a corto, mediano y largo plazo.

En el proceso de explotación del mineral de hierro intervienen una serie de sub procesos de los cuales cada uno forma parte esencial en la producción del mineral. Comienza con la exploración la cual tiene como propósito identificar la cantidad de recursos de los yacimientos del mineral de hierro así como sus características físicas y químicas, para luego ser perforados con taladros eléctricos rotativos y fracturados con explosivos denominados ANFUL y ANFOAL. Una vez fracturado el mineral de hierro por efecto de la voladura, es removido por palas eléctricas e hidráulicas desde los frentes de producción (lugar donde queda el material para ser cargado), cuando mencionamos la actividad de carga se refiere a la actividad que realiza el equipo de excavación (Palas), las mismas vacían el mineral sobre el camión donde posteriormente se dará la actividad de acarreo, que básicamente se trata de transportar el mineral desde los frentes de producción hasta los diferentes muelles o plataformas donde son depositados en vagones, para luego ser trasladados hasta la Planta de Procesamiento de Mineral de Hierro (PMH) en Puerto Ordaz.

Una de las etapas de mayor cuidado, es la etapa de excavación. Esta actividad es de vital importancia para la producción ya que, si las Palas no están disponibles para la carga del mineral de hierro, esto afectará en gran medida las operaciones de PMH en Puerto Ordaz. Actualmente la superintendencia de mantenimiento de la C.V.G Ferrominera Orinoco C.A., que es el ente ejecutor de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo en los equipos móviles de la mina,

específicamente en su Taller de Palas y Taladros, han venido realizando un seguimiento al comportamiento que presenta la pala P&H en el proceso de excavación y carga del mineral. La problemática en este proceso, esta enfocada a las fallas recurrentes presentadas en diversos componentes que conforman la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL reflejadas en los históricos como son: daños en los rodillos de giro y en el muñón central, fallas en el motor y freno del mecanismo de excavación, rotura del eje de giro lado derecho, círculo de giro, guaya y cadena del mecanismo de apertura de la puerta del balde, fallas en la cremallera del brazo del balde, daños en la rueda motriz, orugas y en el eje principal de excavación. Dichas fallas están ocasionando la parada del equipo trayendo como consecuencia demoras en la producción, altos costos en el mantenimiento y la contratación extra de mano de obra especializada. Cabe señalar que actualmente a esta pala se le aplican actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, las cuales para su desarrollo cuentan con un procedimiento de aplicación específica (840-P-06), que explica las normas y pasos a seguir en la planificación y ejecución de los diferentes tipos de mantenimiento, es importante resaltar que el mantenimiento de todos los equipos mineros se programan a partir de las 250 horas de operación. También debe señalarse que los métodos de mantenimiento aplicados a estos equipos no tienen un proceso de renovación y adecuación a los nuevos paradigmas de mantenimiento basado en condición y centrado en confiabilidad, y muchas veces estas actividades no se encuentran en consonancia con la radicación de las causas raíces de los modos de fallas más frecuentes en esta pala.

Por lo antes señalado y debido a la importancia estratégica de la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL en las operaciones de minería de C.V.G Ferrominera Orinoco C.A., surge la necesidad de mejorar las actividades de mantenimiento preventivo que se realizan en el Taller de Palas y Taladros, apoyadas por un diagnóstico que permita la identificación de las fallas críticas que ocasionan la parada del equipo mediante un Diagrama de Pareto, así como también las causas que la producen a través de un

análisis de Causa Raíz. Todo esto con la finalidad de buscar las soluciones adecuadas y reducir la recurrencia de las fallas, para aumentar así la disponibilidad del equipo y darle mayor rendimiento cumpliendo de esta manera con las metas de producción.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Proponer mejoras en las actividades de mantenimiento preventivo en base al Análisis de Causa Raíz, de la pala P&H modelo 2100 BL, ubicada en el Cuadrilátero Ferrífero San Isidro de C.V.G Ferrominera Orinoco C.A. Ciudad Piar, Estado Bolívar.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Diagnosticar la situación actual de los componentes de la Pala P&H modelo 2100 BL, en su contexto operacional.
2. Determinar las fallas críticas, a través de la técnica de Diagrama de Pareto.
3. Analizar las causas que originan las fallas críticas, por medio de la técnica Causa Raíz.

4. Proponer mejoras en las actividades de mantenimiento preventivo en base a los resultados obtenidos del Análisis de Causa Raíz.

1.4 Justificación de la investigación

La C.V.G Ferrominera Orinoco C.A., por ser la única industria del estado venezolano que realiza la explotación del mineral de hierro, debe garantizar la continuidad de todas las operaciones y procesos en lo que a exploración, extracción, producción y transporte se refiere, para poder así cumplir con los compromisos a nivel nacional e internacional.

El desarrollo de la actividad de excavación de mineral representa un factor importante en las operaciones de minería que se realizan para la producción del mineral de hierro; para la empresa Ferrominera Orinoco C.A., es de vital importancia asegurar la operatividad de los equipos mineros que intervienen en este proceso.

Actualmente las operaciones de minería se han visto entorpecidas producto de paradas imprevistas del equipo de excavación (Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL) afectando directamente los objetivos de producción y entorpeciendo la gestión de mantenimiento. En vista de lo expuesto anteriormente, el presente trabajo de investigación surgió ante tal necesidad y fue requerido por la superintendencia de mantenimiento de Ferrominera Orinoco C.A., estuvo dirigido a la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL y persiguió la evaluación integral en búsqueda de determinar las causas de las fallas presentes en este equipo, a fin de proponer soluciones que permitan mitigar estas fallas aumentando de esta manera la confiabilidad, seguridad y disponibilidad, garantizando niveles de calidad, productividad y medio ambiente requeridos por la empresa.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Toda búsqueda para lograr solucionar un problema debe fundamentarse en otras investigaciones previamente realizadas. Hasta la fecha diversos trabajos han hecho referencia a las actividades de mantenimiento basadas en el análisis de Causa Raíz. Entre los más recientes y que sirvieron de base a este trabajo se encuentran los siguientes:

García, C y González, A. (2.003). Realizó un trabajo de grado el cual se titula “Optimización estadística del mantenimiento industrial centrado en confiabilidad”. Donde el objetivo de la investigación fue proponer un sistema de mantenimiento óptimo, a las industrias que tienen alta experiencia en Mantenimiento Preventivo, que involucra algunas técnicas de RCM, TPM y PMO, para mejorar la productividad de la organización basado en el estado real de la maquinaria y su historial de fallas, utilizando la estadística como una poderosa herramienta de apoyo a la toma de decisiones gerenciales.

Vegas R. (2.002). Desarrolló una investigación que lleva por título “Estudio de las fallas recurrentes en equipos de superficie del sistema de bombeo mecánico mediante balancín perteneciente a la unidad de explotación de yacimiento liviano.

Distrito San Tome”. En este trabajo se presentó un estudio estadístico de fallas basado en la frecuencia de falla y en las pérdidas de producción ocasionadas por los diferentes modos de fallas, se emplearon la técnica de Causa Raíz, con el objeto de determinar los modos de fallas de mayor impacto y las causas que originan las fallas, de manera de poder recomendar las acciones necesarias para disminuir su ocurrencia.

Calado J y Restito J. (1.995). Desarrolló un estudio titulado “Análisis de fallas mecánicas y posibles soluciones a las fallas más críticas en las líneas de estañado electrolítico en una planta de laminación de acero”. En este trabajo se empleo las técnicas del diagrama de Pareto para determinar las fallas críticas y el diagrama de Causa-Efecto con el propósito de buscar las posibles soluciones a las fallas críticas encontradas. Así mismo se estableció la logística necesaria para la implantación de una nueva gestión de mantenimiento.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Definición de mantenimiento

Según Salih Duffuaa y Jhon Cambel (1.995), el mantenimiento se define como el aseguramiento de que una instalación, un sistema de equipos, una flotilla u otro activo fijo continúen realizando las funciones para las que fueron creados.

2.2.1.1. Tipos de mantenimiento

Según Suárez, D. (1.999), el mantenimiento correctivo es una actividad que se realiza después de la ocurrencia de una falla. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en llevar los equipos después de una falla a sus condiciones originales, por medio de restauración o reemplazo de componentes o partes de equipos, debido a desgaste, daños o roturas.

De la misma manera define el mantenimiento preventivo como una actividad planificada en cuanto a inspección, detección y prevención de fallas, cuyo objetivo es mantener los equipos bajo condiciones específicas de operación. Se ejecuta a frecuencias dinámicas, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, las condiciones operacionales, y la historia de falla de los equipos. En la figura 2.1 se muestra de manera esquemática los diferentes tipos de mantenimiento.

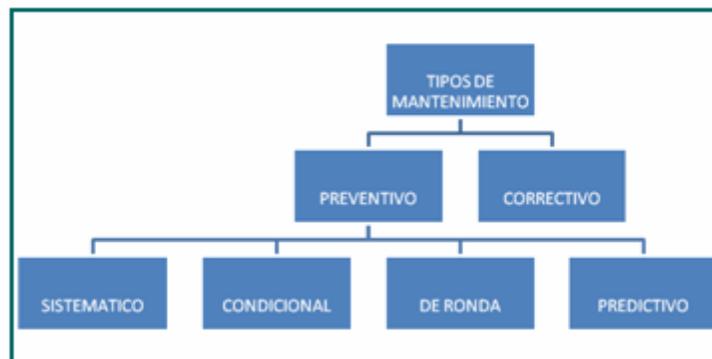


Figura 2.1 Representación esquemática de los tipos de mantenimiento.

Fuente: Suárez Diógenes (1.999)

También establece que los mantenimientos sistemáticos son actividades establecidas en función del uso del equipo (horas, kilómetros, etc.) y se diferencia del

condicional debido a que estos se basan en actividades de seguimiento del equipo mediante diagnóstico de sus condiciones.

Los mantenimientos de ronda establecen vigilancia regular a frecuencias cortas, mientras que los predictivos son monitoreos de condiciones y análisis del comportamiento de los equipos para predecir intervención, según los niveles de admisibilidad.

2.2.2. Planificación y frecuencia de mantenimiento

Según Suárez, D. (2001), la planificación es el diseño de programas de actividades de mantenimiento distribuidas en el tiempo con una frecuencia específica y dinámica que permite mantener los equipos en operación para cumplir con las metas de producción preestablecidas por la organización.

Debido a que un plan de mantenimiento engloba tanto las actividades como la frecuencia a la que se realizan dichas actividades, es necesario aplicar ciertas técnicas que permitan una selección adecuada de las actividades, entre estas técnicas se encuentra el análisis de fallas, el manejo de la información sobre el comportamiento de los equipos y las recomendaciones del fabricante de los equipos.

La frecuencia de mantenimiento puede definirse como el tiempo transcurrido entre dos inspecciones o intervenciones del mismo elemento de un equipo, la misma está asociada con la cantidad de mantenimiento preventivo que se aplica a un

conjunto de equipos o componentes, y depende de factores tales como: la edad y la clase de equipo, ambiente, horas de operación, condiciones de uso, entre otros.

Las consecuencias de frecuencias inadecuadas del mantenimiento preventivo pueden ser las siguientes:

2.2.2.1. Sobre-mantenimiento

- Alto costo de mantenimiento preventivo
- Bajo costo de mantenimiento correctivo
- Pérdidas productivas por baja disponibilidad debido al exceso de paros programados de mantenimiento al equipo.
- Alto costo por consumo e inventario de refacciones o repuestos.

2.2.2.2. Bajo-mantenimiento

- Bajo costo de mantenimiento preventivo.
- Alto costo de mantenimiento correctivo.

- Pérdidas productivas por baja disponibilidad a causa de fallas en el equipo.
- Alto costo por consumo e inventario de refacciones.

2.2.3. Contexto operacional

El contexto operacional define en forma precisa todos los elementos que serán considerados en el análisis, desde la definición de las fronteras hasta los distintos activos y/o elementos que forman parte del sistema a evaluar, así como también, el régimen de operaciones al cual estará sujeto el activo. En la figura 2.2 se muestra la estructuración de contexto operacional.



Figura 2.2 Contexto operacional.

Fuente: Confima & Consultores (I Edición 2.007).

2.2.4. Proceso de diagnóstico

El diagnóstico, es un análisis que se realiza para determinar cual es la situación y cuales son las tendencias de la misma. Esta determinación se realiza sobre la base de informaciones, datos y hechos recogidos y ordenados sistemáticamente, que permiten juzgar mejor qué es lo que está pasando. En otras palabras, el diagnóstico es el punto de partida para diseñar operaciones y acciones que permiten enfrentar los problemas y necesidades detectadas en el mismo.

De forma general para realizar un diagnóstico, se deben cumplir con los siguientes pasos:

- Observación.
- Descripción (es necesario un lenguaje).
- Clasificación.
- Agrupación.
- Identificación de relaciones significativas.
- Observación crítica de los atributos (características).
- Selección de unas prioridades.
- Desarrollo de un criterio.

En el mantenimiento, un diagnóstico de los equipos o sistemas permite conocer el estado en que se encuentran y a la vez permite conocer con cuántos equipos se

cuentan, así como la ubicación y función de cada uno dentro del sistema, en tal sentido, para que este análisis presente resultados eficientes, se debe cumplir con algunos requerimientos, entre los que se encuentran:

- **Ubicación del equipo dentro de la empresa:** En esta etapa se deben responder preguntas tales como, ¿Cuál es la función del equipo?, ¿Qué beneficios y gastos genera el equipo?, entre otras interrogantes que permitan definir el uso del equipo y la relevancia del mismo en el proceso productivo en el cual se encuentra involucrado.
- **Estado de los equipos:** Para esta fase, se analizan aspectos externos de los equipos, tales como nivel de limpieza y orden de los equipos, estado de oxidación de algunos componentes, entre otros aspectos.
- **Cantidad de mantenimiento aplicado:** Para esta etapa se estudian aspectos de la planificación y ejecución de las tareas de mantenimiento que son aplicadas a los equipos en estudio.

2.2.5. Confiabilidad operacional

Según García, C y González, A. (2.003), define la confiabilidad operacional como la capacidad de una instalación o un sistema integrado por: procesos, tecnología y gente para cumplir su función dentro de los límites de diseño y bajo un contexto operacional específico.

Este concepto lleva implícito un enfoque sistemático basado en el conocimiento para la eliminación de las causas de falla, tanto humanas, como de equipos, como de

procedimientos, para poder eliminar los actores de baja confiabilidad que afectan a los procesos críticos y la rentabilidad total de la empresa.

Como se muestra en la figura 2.3, la confiabilidad operacional depende de los siguientes factores:

- **Confiabilidad Humana:** Se requiere de un alto compromiso de la gerencia para liderar los procesos de capacitación, motivación e incentivación de los equipos de trabajo, generación de nuevas actitudes, seguridad, desarrollo y reconocimiento, para lograr un alto involucramiento de los talentos humanos.
- **Confiabilidad de los Procesos:** Implica la operación de equipos entre parámetros, o por debajo de la capacidad de diseño, es decir sin generar sobrecarga a los equipos y el correcto entendimiento de los procesos y procedimientos.
- **Mantenibilidad de Equipos:** es la probabilidad de que un equipo pueda ser restaurado a su estado operacional en un periodo de tiempo determinado. Depende de las fases de diseño de los equipos (confiabilidad inherente de diseño), de la confiabilidad de los equipos de trabajo. Se puede medir a través del indicador TMPR: Tiempo Medio Para Reparar.
- **Confiabilidad de Equipos:** determinada por las estrategias de mantenimiento, la efectividad del mantenimiento. Se puede medir a través del indicador TMEF: Tiempo Medio Entre Fallas.

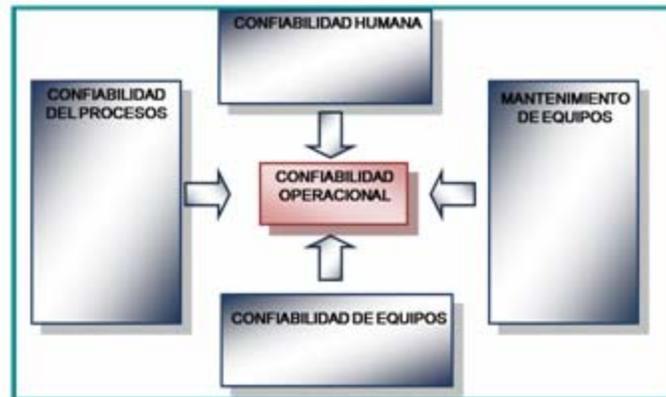


Figura 2.3. Factores que determinan la confiabilidad operacional.

Fuente: García, C y González A. (2.003)

Para poder mejorar la confiabilidad Operacional, es necesario el análisis de estos cuatro (4) parámetros. Se debe actuar sobre estos para poder lograr un mejoramiento en la confiabilidad a largo plazo.

El enfoque de la cultura de la Confiabilidad Operacional permitirá entre otras cosas:

Solución de problemas recurrentes en equipos e instalaciones, que afectan los costos y la efectividad de operaciones.

Determinación de tareas que permitirán minimizar los riesgos de los procesos equipos y medio ambiente.

2.2.6. Fallas o averías

Según Zambrano S, Leal S. (2.005), una falla es como un hecho fortuito ocurrido a los sistemas u objetos que impide su normal funcionamiento y desempeño. Su tratamiento es sin duda el objetivo principal de la función mantenimiento, ya que en todo momento se exige su eliminación, pero nuestra cultura pretende la minimización de las averías o del tiempo de parada no programado.

Según Suárez, D (1.999), dice que un componente o equipo ha fallado cuando:

- Llega a ser completamente inoperante.
- Puede todavía operar, pero no puede realizar satisfactoriamente la función para la que fue diseñado.
- Por serios daños es inseguro su uso.

Es decir cuando no puede o ha perdido la capacidad para cumplir su objetivo a satisfacción, ya sea en cantidad, calidad u oportunidad.

Según Zambrano, norma COVENIN 3049-93, se pueden clasificar las fallas o variaciones de acuerdo a su alcance, por su velocidad de aparición, por su impacto y por su dependencia.

2.2.6.1. Fallas de acuerdo a su alcance

- **Parcial:** es aquella que origina desviaciones en las características de funcionamiento de un equipo, fuera de límite especificado, pero no la incapacidad total para cumplir su función.

- **Total:** es aquella que origina desviaciones o pérdidas de las características de funcionamiento de un equipo, tal que produce incapacidad para cumplir su función.

Fallas de acuerdo a su velocidad de aparición:

- **Progresiva:** es aquella en la que se observa la degradación de funcionamiento de un equipo y puede ser determinada por un examen anterior de las características del mismo.

- **Intermitente:** es aquella que se presenta alternativamente por lapsos limitados.

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

2.2.6.2. Fallas de acuerdo a su impacto

- **Menor:** es aquella que no afecta los objetivos de producción o de servicio.

- **Mayor:** es aquella que afecta parcialmente los objetivos de producción o de servicio.

- **Crítica:** es aquella que afecta totalmente los objetivos de producción o de servicios.

2.2.6.3. Fallas por su dependencia

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

2.2.7. Fallas de mantenimiento

Según Zambrano S, Leal S. (2.005), los sistemas luego de un período de funcionamiento empiezan a presentar ciertas fallas, bien sea por no haberles dado mantenimiento, por hechos fortuitos o por demasiado tiempo de uso. Tomando en cuenta la generalidad de los sistemas u objetos sujetos a acciones de mantenimiento, su vida útil se describe de acuerdo a tres periodos o etapas de vida diferenciados de la siguiente forma:

- **Período de arranque o etapa de nacimiento:** se inicia al principio de la vida del objeto, es decir, es cuando el objeto o sistema comienza su funcionamiento, durante este periodo la recurrencia de las fallas es alta debido a las

pruebas previas a su normal funcionamiento estas fallas disminuyen con el tiempo hasta que llega a estabilizarse.

De igual manera explica que por lo general se cumple que existe un alto nivel de roturas, la confiabilidad es muy baja y con la corrección de los defectos de fábrica la frecuencia de falla disminuye hasta llegar a estabilizarse en un índice aproximadamente constante. Las fallas presentadas en este periodo ocurren debido a defectos del material, errores humanos en ensambles y componentes fuera de especificación en la construcción.

Los tipos de mantenimiento comúnmente aplicados en esta etapa son rutinarios, programados, circunstanciales y por consiguiente se tiene que aplicar las recomendaciones de los fabricantes y las dictadas por la garantía, entonces la organización del mantenimiento debe velar porque dichas condiciones de garantía sean las mejores y más adecuadas, a fin de hacer el menor mantenimiento posible.

- **Período de operación normal o etapa de funcionamiento operacional:**

este período ocurre posterior a la etapa de nacimiento, las fallas permanecen durante cierto período de forma aproximadamente constante, este abarca la mayor parte de la vida útil del objeto.

Las fallas son debidas a acumulación de esfuerzos por encima de la resistencia del diseño y de las especificaciones, falta de lubricación, mala operación e imponderables como lo constituyen las fallas en otros sistemas productivos interconectados, materia prima, fluctuaciones de la energía, u otros.

Los tipos de mantenimiento comúnmente aplicados en esta etapa son rutinario, programado, circunstancial (si aplica), avería, correctivo y preventivo.

- **Período de desgaste o etapa de mortalidad:** el período de desgaste se presenta al final de la vida útil del objeto, comienzan a aparecer fallas recurrentes a lo largo del tiempo, las fallas se caracterizan por presencia de fatiga, erosión, corrosión, desgaste mecánico e imponderables al objeto o al sistema productivo.

Los tipos de mantenimiento comúnmente aplicados en esta etapa son rutinario, programado, circunstancial, avería con gran auge al igual que el correctivo y preventivo. Ya en este periodo se ha recopilado la data necesaria para elaborar los planes y programas de mantenimiento, debido al mayor y mejor conocimiento del sistema.

Cuando un Sistema Productivo entra en este periodo, debe someterse a una reparación general e idealmente se analizan las fallas en función de los costos asociados a la reparación. Para hacer esta reparación general se debe contar con historiales de fallas registrados en hojas de vida de los sistemas para poder analizar cabalmente cada parte.

2.2.8. Análisis de falla

Según Vegas R. (2.002), el análisis de fallas se realiza con la finalidad de determinar aquellas fallas que influyen de una manera mayoritaria en los equipos, entorpeciendo la buena gestión de mantenimiento, así como para determinar las causas que originan las fallas de piezas y equipos en servicio, con el fin de proponer soluciones para su disminución, mejorando la labor de mantenimiento y sus resultados.

Debido a la cantidad de fallas que ocurren en los diferentes equipos se hace necesaria la aplicación de un criterio selectivo para atacar en primer lugar las fallas que más impactan negativamente en los resultados de mantenimiento. El análisis de falla comprende dos aspectos.

- **Análisis Técnico de Fallas:** estudia la dependencia de los mecanismos con respecto a la causa que las origina. El estudio es realizado directamente por el analista de mantenimiento, basado en la información técnica que disponga sobre la falla y en su experticia al respecto.
- **Análisis Estadístico de Fallas:** es una herramienta importante en la ingeniería, permite apreciar, entender o aplicar gran parte del trabajo desarrollado en un área determinada. Además, las probabilidades están siempre asociadas al hecho de que ocurra o no, un suceso. Existen diferentes parámetros estadísticos que permiten analizar el funcionamiento de un equipo cualquiera. Mediante el análisis completo pueden determinarse cuales son las fallas más críticas de un equipo, puede evaluarse el mantenimiento que se aplica, y también puede ser determinado el rendimiento del equipo en funcionamiento.

2.2.9. Análisis de Pareto (análisis ABC)

El principio de Pareto es una herramienta que permite determinar cuales son las fallas más impactantes o críticas, en la línea de producción o equipo en particular. Este principio reduce la importancia relativa de alguna de ellas, mostrando otras que pasan a tener mayor importancia y que son las que se deben atacar primero.

Según Laverde, H. (2.001), Este método procede de los trabajos del economista italiano Wilfredo Pareto, quien comprobó que el 15% de los contribuyentes de E.U.A, pagaban el 85% del total del impuesto, por esto el método se llama ley 15-85 o 20-80.

Según Salih Duffuaa y Jhon Cambel (1.995), una gráfica de Pareto es simplemente una distribución de frecuencias de datos de atributos acomodados por orden de frecuencia. Su propósito es separar los pocos vitales de los muchos triviales, también ayuda a establecer prioridades acerca de cual curso de acción es más benéfica. Por ejemplo, en la ingeniería de mantenimiento hay muchos factores que podrían mejorarse, incluyendo la productividad de los trabajadores, el tiempo de operación del equipo, la tasa de calidad del equipo, la disponibilidad, entre otros. Es imposible tener los recursos para mejorar todos estos factores. Una grafica de Pareto puede ser útil para identificar los factores importantes por mejorar y como resultado de ello, pueden establecerse prioridades acerca de cual factor mejorar, a fin de eliminar defectos y lograr la mayor mejora posible; enfocando las fallas como causas de demoras, se puede decir que se categorizan los factores en tres clases. La clase A generalmente contiene alrededor del 20% de los factores (fallas) que están ocasionando del 75% al 80% de los problemas (demoras). La clase B contiene alrededor del 20% de los factores que ocasionan del 15% al 20% de los problemas. El resto de los factores (que son muchos) están en la clase C.

En la figura 2.4, se presenta un ejemplo de un diagrama de Pareto considerando la frecuencia de falla de una máquina rectificadora R1, se observa que las primeras 12 posiciones representan las fallas críticas de la máquina, por lo tanto los esfuerzos de mantenimiento deben ir dirigidos a las correcciones de esas fallas.

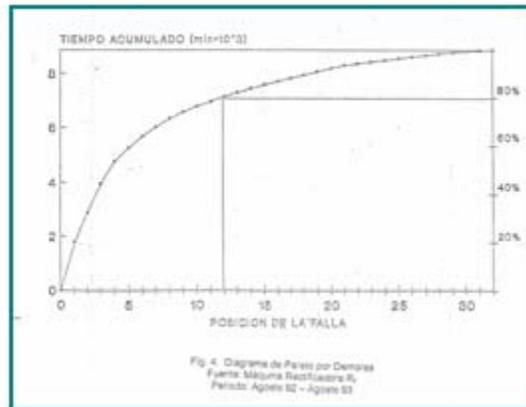


Figura 2.4. Ejemplo de una gráfica o diagrama de Pareto.

Fuente: Suárez, D. (1.999)

Según Suárez, D. (1.999), para la construcción del Diagrama de Pareto, se escoge el o los factores de clasificación de las fallas sujeta a estudio de una manera decreciente que en este caso son por tiempo de demoras acumulado o por frecuencia de ocurrencia, luego se deben seguir una serie de pasos, los cuales se mencionan a continuación:

Se elige un periodo de tiempo base para efectuar el análisis, siendo este periodo lo más representativo para poder tener una información bastante completa de la ocurrencia de las fallas.

- Se elabora un listado de fallas que produzcan demoras, indicando el tiempo acumulado en minutos de demoras que ha causado con el periodo escogido y a la posición técnica del equipo en que ocurre la falla.
- Se ordenan las fallas de manera descendente en minutos de demoras acumulados, es decir, a la falla con mayor cantidad de minutos de demora

acumulados le corresponde el primer lugar y de esta forma se ordena de manera decreciente las demás fallas.

- Construir un sistema de ejes coordenadas, en el cual al eje horizontal le corresponde el número de la posición de las fallas, de acuerdo a los minutos acumulados y al eje vertical los minutos de demoras acumulados.

- Se construye la curva de minutos acumulados de demoras en función a la posición de las fallas de acuerdo a las demoras.

- Se divide en cinco (5) partes iguales el espacio o segmento que queda debajo del punto más alto de la curva hasta el eje horizontal, es decir, desde el máximo de minutos acumulados hasta el valor 0 minutos, y se le asignan porcentajes de 20, 40, 60, 80 y 100% a cada parte, donde al 100% le corresponde al punto más alto en la grafica.

- Trazar una línea horizontal por el punto correspondiente al 80% de demoras acumuladas hasta tocar la curva y bajar una vertical por ese punto, el punto así obtenido indica que las fallas cuyas posiciones están a la izquierda causan el 80% de las demoras.

- Para el caso cuando seleccionan las fallas desde el punto de vista de frecuencia, se procede de igual forma, solo que en vez de utilizar las demoras en minutos utilizamos frecuencias de ocurrencia, expresada en cantidad de veces que ocurrió la falla en el periodo considerado.

2.2.10. Análisis causa raíz (ACR)

Según Vegas, R (2.002), el análisis Causa Raíz (ACR) es una herramienta sistemática que se aplica con el objetivo de determinar las causas que originan las fallas, sus impactos y frecuencias de aparición, para luego mitigarlas o suprimirlas totalmente. Se aplica generalmente en problemas puntuales para equipos críticos de un proceso o cuando existe la presencia de fallas repetitivas. Para aplicar un Análisis Causa Raíz se debe tener una definición clara de sistema, falla, para así comprender la interrelación existente entre los diversos niveles de un proceso, lo que permitirá a la hora de realizar un estudio, considerar todos los factores, aspectos y condiciones que están presentes en un entorno, ya que cualquiera de ellos puede generar una falla.

Esta metodología define sistema como el conjunto de elementos relacionados entre sí por medio de vínculos para lograr determinados objetivos, dentro de un cuadro de limitaciones definidas. Al mismo tiempo, conceptualiza la falla como una condición que interrumpe la continuidad o secuencia de un proceso o sistema dinámico. La falla es el resultado de una secuencia de eventos y cada evento tiene una o más causa raíz. Es por ello que debe estudiarse el sistema total, a fin de considerar todos los elementos, factores y condiciones contribuyentes al desarrollo de la falla. El diagrama o árbol de falla (Ver figura 2.5) constituye la herramienta principal del ACR. El mismo contiene una representación esquemática de las diferentes hipótesis planteadas de acuerdo a las características del problema a solucionar.

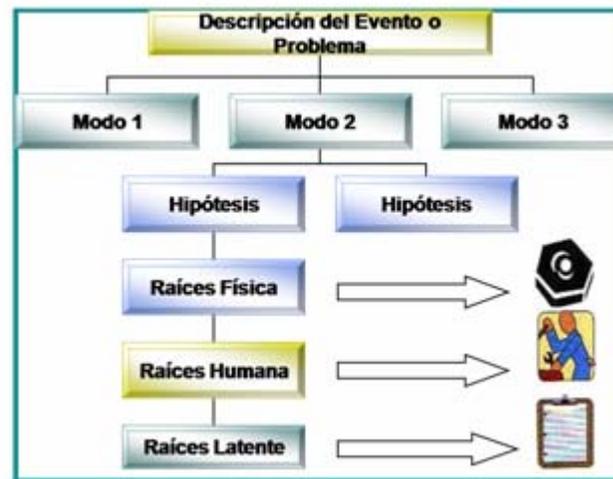


Figura 2.5. Estructura del árbol lógico de falla.

Fuente: Vegas, R (2.002).

Las causas de cualquier falla pueden ubicarse en las siguientes categorías:

- Defectos de diseño.
- Defectos en los materiales.
- Condiciones de servicio irregulares.
- Mantenimiento deficiente.
- Erradas prácticas de operación.

El objetivo fundamental del ACR 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 redimirla por completo una vez tomadas las acciones correctivas que nos sugiere el mencionado análisis.

Entre los beneficios de la aplicación de un ACR se tiene:

- Evita la repetición de fallas.
- Aumenta la confiabilidad, disponibilidad y seguridad.
- Mayor eficiencia, rentabilidad y productividad.
- Disminución del número de incidentes.
- Reduce la exposición al riesgo por seguridad y ambiente del personal al disminuir el
 - número de fallas de alto impacto.
 - Mejora la eficiencia tanto de operaciones como de mantenimiento.
 - Reduce los costos de reparación y penalización al ser identificados y corregidos los modos de falla crítica.

El ACR como se indicó anteriormente, se aplica generalmente en problemas puntuales que se presentan en equipos críticos para un proceso o que presentan fallas repetitivas, por lo tanto debe aplicarse cuando:

- Se requiera el análisis de fallas que se presentan continuamente o en procesos críticos.

- Cuando se necesite un análisis del proceso de diseño, de aplicación de procedimientos y de supervisión.
- Necesidad de analizar diferencias organizacionales y programática.
- Se incurre en costos operativos excesivos.
- Se desea mejorar la gestión de mantenimiento a corto plazo.

Para realizar un ACR se debe tener información técnica necesaria, la cual se detalla a continuación:

- Información relacionada con las variables de operación (información del sistema automatizado de control, temperatura, presión, flujo, etc.).
- Historiales de mantenimiento.
- Libros diarios de los eventos de cada turno.
- Resultados de inspecciones (visuales, mediciones, etc.).
- Resultados de laboratorio (mecánico, químico y metalúrgico).
- Datos de vibraciones (diagnóstico).
- Información de compras.
- Procesamientos de mantenimiento.

- Procedimientos operacionales.
- Datos y modificaciones sobre los diseños
- Registro de entrenamiento del personal.

La metodología ACR esta dividida en los siguientes pasos para la resolución del problema:

- **Enfoque:** el evento es un planteamiento global que describe el problema que se desea eliminar. Aunque normalmente se piensa en esto como una falla en el equipamiento, puede ser cualquier clase de problema. Por ejemplo, producción insuficiente, entregas demoradas, procedimientos inadecuados de operación, demoras administrativas, o cualquier otra condición que representa un costo inaceptable de llevar a cabo la actividad comercial. Existen dos clases de eventos las cuales son:

- **Eventos Esporádicos:** Son aquellos que causan una cantidad considerable de caos cuando aparecen; tienen ciertas características que son importantes como por ejemplo, por la naturaleza del problema capturan la atención de todos (incendios, explosiones, virus en las computadoras, huelgas, etc.), ocurren infrecuentemente, y una vez corregidos, simplemente vuelven a establecer las condiciones normales de operación.

- **Eventos Crónicos:** Son problemas que ocurren una y otra vez, y por las mismas razones aparentes. Ocurren tan frecuentemente que son aceptados simplemente como el costo de hacer negocios. El estado normal se mantiene a

pesar de su existencia continua. A diferencia de sus contrapartes esporádicas, los problemas crónicos tienen una alta frecuencia de ocurrencia y generalmente no llevan mucho tiempo para ser corregidos.

- **Preservar la Información del Evento:** es el punto en el que se comienza a analizar el problema o evento específico. La recolección de datos es una parte integral del ACR. Sin los datos, es virtualmente imposible descubrir la causa raíz.
- **Identificación de los Modos de Fallas:** se refiere a la identificación de las fallas particulares que al ocurrir generan el evento indeseado que se desea eliminar. Los modos son la razón de porque el evento esta ocurriendo. No son las razones por la que podría ocurrir, si no los hechos detrás del porque el evento esta ocurriendo.
- **Ordenar el Análisis del Evento:** es la forma convencional de formar un equipo de análisis, mediante la asignación de un grupo de personas, que son expertos y tienen conocimiento relacionado directamente al evento que se está analizando. Una vez que el equipo ha sido formado, organizan un torbellino de ideas para poder deducir cómo ocurrió el evento, es decir, empieza la generación de hipótesis. Las hipótesis son conjeturas educadas sobre como el modo ha ocurrido; están generadas preguntando ¿Cómo puede algo ser posible u ocurrir? Cuando se genera una hipótesis, se debe tener en cuenta todas las posibilidades sin importar lo remota que sea la posibilidad de que la misma ocurra. Uno de los errores más grande en el análisis de un problema es ignorar aquellas posibilidades que, a primera vista, parecen ser tan remotas que carecen de la necesidad de una investigación más profunda. Aunque las hipótesis pueden llegar a ser falsas, el acto de verificarlas muchas veces nos da pista sobre la causa real del problema.

- **Verificación de Hipótesis:** el siguiente paso es la verificación de las hipótesis. Se debe verificar cada hipótesis para obtener cual es la verdadera y cuales no lo son. La verificación de las hipótesis da la confianza necesaria para llegar a las causas raíz correctas. Este proceso de lógica deductiva se reitera una y otra vez hasta que todas las raíces se determinan acertadamente.

- **Analizar el Evento:** para analizar un evento o un problema hasta su causa raíz más profunda, se necesita utilizar una metodología disciplinada. Sin una metodología disciplinada, se está destinado a descubrir las causas raíces incorrectas y por lo tanto implementar las soluciones incorrectas a lo que en realidad está causando el problema. Los primeros dos niveles del árbol lógico tienen en cuenta todos los hechos conocidos del problema que se está analizando. Se refiere a estos dos niveles como, la Caja Superior y representan la definición del evento. La formación de la Caja Superior es un paso crítico en la creación del árbol lógico, porque si el evento está definido incorrectamente, definitivamente llegará a las causas incorrectas del problema que se está analizando. Las raíces son las causas o las razones de porque el problema está ocurriendo. El eliminar las causas raíces significa que estamos practicando la prevención de problemas. Hay tres niveles de causas raíces: Físicas, Humanas y Latentes.

- **Causa Raíz Física:** Es la causa tangible de porque 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 a sus inapropiadas intervenciones. Nacen por la ausencia de decisiones acertadas, que pueden ser por convicción o comisión. Nunca utiliza nombres individuales o grupales cuando se especifica la causa. Pueden ser muy sensitivas a una política de

"Punto de Vista". Necesitan verificación y no solamente se forman en ambientes donde el personal se siente presionado. La falla humana se debe a un error o a una violación; el error humano puede originarse por descuido, olvido y equivocación y sus características pueden ser no intencional, desviación de lo normal, resultados no deseado. La violación puede originarse por rutina, situación y excepción y se caracteriza por ser intencional.

- **Causa Raíz Latente:** Son el producto de la deficiencia en los sistemas y de los procedimientos que guían la forma de hacer las cosas dentro de una organización. También se puede pensar en las raíces latentes como las deficiencias en los sistemas organizacionales (reglas, procedimientos, políticas, pautas, entrenamiento, entre otras) que permitieron la ocurrencia de la falla física. Proviene de errores humanos. En ciertas ocasiones afectan más que el problema que se está estudiando, ya que pueden generar circunstancias que originen nuevas fallas.

2.2.11. Conformación del equipo natural de trabajo (ENT)

Según Suárez, D. (2007), es un grupo multidisciplinario que pertenecen a una organización que trabajan en conjunto durante un periodo de tiempo, para solucionar problemas específicos, con ayuda del valor agregado que suministra cada miembro de un área específica, para mejorar la gestión a corto plazo. Los miembros principales que han de conformar este equipo de trabajo se describen a continuación:

- **Operadores y/o Supervisores de Producción:** aportan conocimientos sobre el efecto y consecuencias de las fallas.

- **Técnicos y/o Supervisor de Mantenimiento (mecánicos, electricistas e instrumentistas)**: aportan conocimientos de las causas de las fallas y maneras de evitarlas.
- **Especialistas en Procesos**: participan para resolver las controversias en las reuniones de trabajo.
- **SIAHO**: informan sobre el impacto en seguridad industrial, ambiente e higiene ocupacional.
- **Planificador**: se encarga de incorporar las actividades que minimizan la ocurrencia de las fallas en el programa de mantenimiento, con su frecuencia correspondiente.
- **Analista de Mantenimiento**: aportan información relacionado con el comportamiento del equipo en el tiempo.
- **Facilitador General**: es un miembro extra del grupo, su labor consiste en fijar reuniones, coordinarlas y verificar que el trabajo del equipo se adapte a la metodología del ACR.

Este equipo tiene la responsabilidad de aplicar el ACR para determinar las causas raíces físicas, humanas y latentes; mediante la construcción del árbol lógico de fallas, como lo exige la metodología.

Entre las características de un ENT se encuentran las siguientes:

- Involucrar a cada miembro, para la búsqueda de solución de problemas con sentido de pertinencia.
- Participación de todos los miembros en las discusiones. Conscientes de que los roles de los integrantes son diferentes, pero complementarios. Todos tienen que aportar.
- Se atiende a cada miembro y no hay temor de hacer sugerencias, existe consenso y compromiso.
- Los desacuerdos no se ocultan, se discuten, para resolverlos.
- Las críticas son sinceras y frecuentes, pero sin ataques personales.
- Utiliza ayuda externa cuando es requerida.
- Los resultados son validados por el mismo proceso de análisis y la implementación de acciones deben garantizarse.

2.2.12. Análisis de criticidad (AC)

Según Suárez, D. (2.007), es una metodología que permite establecer jerarquía o prioridades de sistemas o equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones, orientando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar, basado en la realidad actual. Su objetivo es ofrecer una

herramienta de ayuda, en la determinación de la jerarquía de sistemas y equipos de una planta, que permita manejarla de manera controlada y en orden de prioridades.

El establecimiento se basa en seis criterios fundamentales: impacto en seguridad, impacto al ambiente, nivel de producción, impacto en la producción, costo de reparación y tiempo promedio para reparar. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis.

En el estudio de la criticidad de los sistemas de la pala eléctrica P&H modelo 2100 BL aplicaremos la matriz de criticidad basada en la escala de Impacto-Esfuerzo, donde se estudian los criterios fundamentales de falla, tanto en el área de mantenimiento como en el área operacional. La figura 2.6 muestra la guía de impacto, donde se especifican los factores a evaluar, así como su ponderación respectiva.

1. PORCENTAJE DE PROCESAMIENTO AFECTADO	Puntaje
<u>Materia Prima</u>	
$0 \leq \% \leq 10$	1
$10 < \% \leq 20$	2
$20 < \% \leq 35$	4
$35 < \% \leq 50$	6
$50 < \% \leq 70$	9
$70 < \% \leq 100$	12
2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (TPPR)	Puntaje

Menor a 4 horas	1
$4 \leq \text{horas} \leq 8$	2
$8 < \text{horas} \leq 24$	4
Más de 24 horas	6
3. IMPACTO EN PRODUCCIÓN (por falla)	Puntaje
No Afecta Producción	0.05
25% de Impacto	0.30
50% de Impacto	0.50
75% de Impacto	0.80
La Impacta Totalmente	1
4. COSTO DE REPARACIÓN	Puntaje
Menos de 25 MMBs	3
$25 \leq \text{MMBs} \leq 50$	5
$50 < \text{MMBs} \leq 100$	10
Más de 100 MMBs	25
5. IMPACTO EN SEGURIDAD	Puntaje
Alto	35
Medio	25
Bajo	0

Figura 2.6. Guía de impacto área de operación y mantenimiento.

Fuente: Confima & Consultores, C.A. (I Edición 2.007)

Los factores que se señalan en la tabla indicada anteriormente son evaluados con el equipo natural de trabajo, mediante reuniones periódicas. Una vez que se evalúe, en consenso, cada uno de los valores presentados, se introducen en la siguiente formula:

- Impacto = (% Procesamiento Afectado x TPPR x Impacto en Producción) + Costo de Reparación + Impacto en Seguridad + Impacto Ambiental, obteniendo así el impacto total.

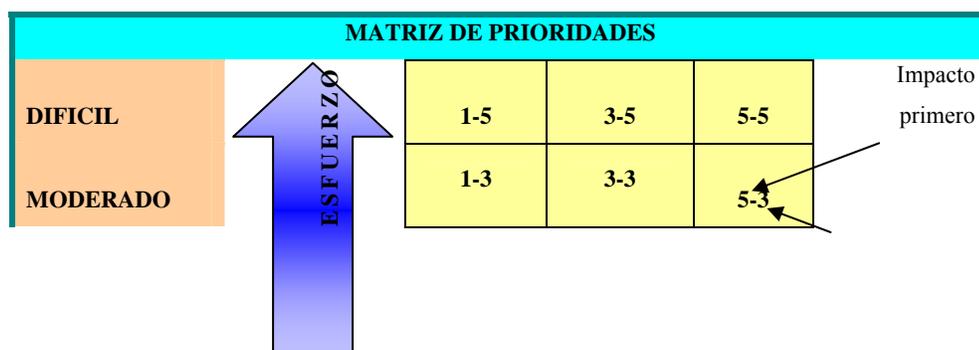
Una vez obtenido el impacto total se procede a clasificar el mismo de acuerdo a la ponderación obtenida. La tabla 2.2 muestra las clasificaciones del impacto y del esfuerzo, así como su ponderación y/o escala respectiva.

Impacto= (Nivel de Producción x TPPR x Impacto de Producción) + Costo de Reparación + Impacto de Seguridad + Impacto Ambiental		
Impacto total =		
Evaluación Obtenida	Clasificación del Impacto	Escala
	Bajo ($3 \leq$ Ponderación total ≤ 32)	1
	Medio ($3 <$ Ponderación total ≤ 97)	3
	Alto ($97 <$ Ponderación total ≤ 162)	5
Esfuerzo		Escala
Solución directa. Se dispone de recursos propios (humano, material, y repuesto).		1
Se identificaron alternativas de solución, sin embargo no se dispone del 100% de los recursos para ejecutar la actividad.		3
Se requiere de la intervención de especialistas externos o recursos no disponibles.		5

Figura 2.7. Escala impacto- esfuerzo.

Fuente: Confima & Consultores, C.A. (I Edición 2.007).

Los valores obtenidos tanto del impacto como el esfuerzo se grafican y se obtiene la matriz de prioridades como se muestra en la figura 2.8 y 2.9.



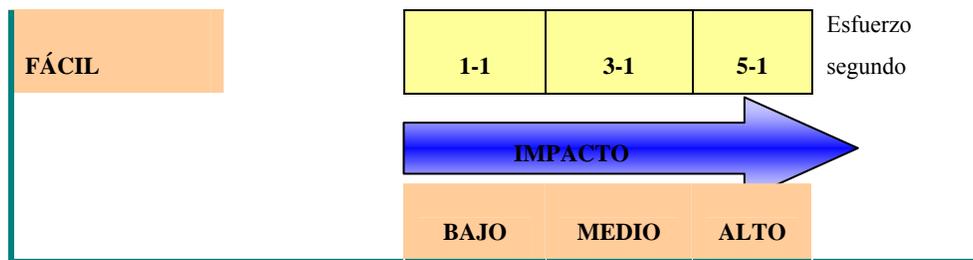


Figura 2.8. Matriz de prioridades

Fuente: Confima & Consultores, C.A. (I Edición 2.007).

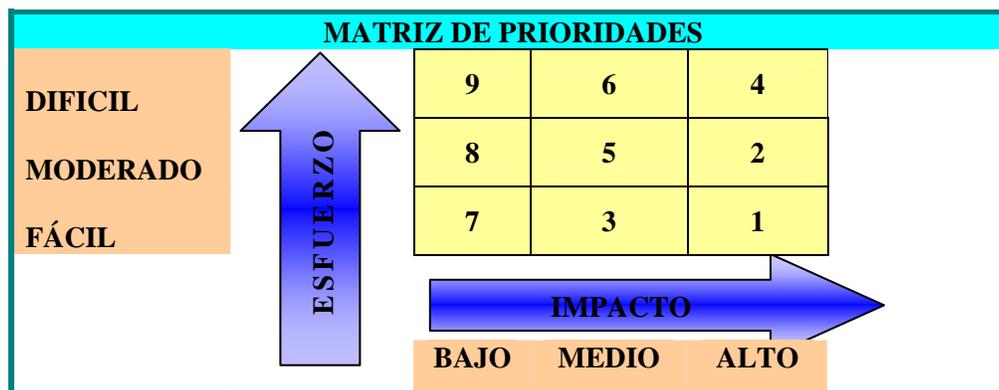


Figura 2.9. Ubicación en la matriz de prioridades

Fuente: Confima & Consultores, C.A. (I Edición 2.007).

De acuerdo con esta metodología, se debe seleccionar el problema de mayor impacto y menor esfuerzo para su corrección. A continuación se presenta un formato recomendado por Confima & Consultores, C.A., para registrar y clasificar eventos. (Ver figura 2.10)

Nº	PROBLEMAS / EVENTOS	ESCALA IMPACTO	ESCALA ESFUERZO	PRIORIDAD
----	------------------------	-------------------	--------------------	-----------

1	Falla del Sistema de Enfriamiento de Crudo y Gas	5	1	1
2	Falla del Sistema de Bombeo	1	3	8

Figura 2.10 Formato para registrar y clasificar eventos.

Fuente: Confima & Consultores, C.A. (I Edición 2.007).

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se dan a conocer todos los aspectos relacionados con la metodología desarrollada, donde se especifican las características y aspectos de la investigación. En tal sentido, la metodología constituye un procedimiento general para lograr de una manera precisa el objetivo de la investigación. De allí que el diseño metodológico empleado durante el abordaje de esta investigación permitió confrontar y verificar la visión teórica del problema y los objetivos planteados con los datos de la realidad, así como los lineamientos bajo los cuales se han de regir las mismas, donde se destacan aspectos como: El tipo de investigación, población, muestra, instrumentos y técnicas que permitieron el desarrollo de esta investigación.

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente trabajo de investigación titulado “Mejoras en las actividades de mantenimiento preventivo de las Palas P&H, ubicadas en el cuadrilátero Ferrífero San Isidro de C.V.G. Ferrominera Orinoco, C.A. Ciudad Piar”, se desarrolló bajo una estrategia de Investigación Documental, ya que se basó en la revisión de fuentes y documentos bibliográficos, así como también en manuales de especificaciones técnicas de los equipos, procedimientos utilizados en éstos y la consulta de criterios y metodologías de mantenimiento de diversos autores. Según la estrategia aplicada se

puede decir que la investigación se fundamentó en un Estudio de Campo, lo cual permitió la recopilación de datos, proporcionando información más exacta, garantizando un alto grado de confiabilidad y por consecuencia un bajo margen de error para el conjunto de información obtenida en el lugar donde se desarrollaron los acontecimientos más resaltantes del tema sometido a estudio.

Según el conocimiento; el tipo de estudio realizado puede definirse como una investigación de tipo Descriptiva, ya que el propósito principal de ésta fue describir las situaciones y eventos que están directamente relacionadas con las fallas en los sistemas que componen la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL.

La presente investigación se enmarca bajo el esquema del mantenimiento proactivo, basado en una filosofía que conduce a detectar y eliminar las causas que originan las fallas en la maquinaria. La aplicación de un análisis de Causa Raíz (ACR) a las distintas fallas críticas que presentan los componentes, permitió dirigir el estudio para descubrir los eventos indeseables y las causas raíces que ocasionaron las fallas, permitiendo a su vez formular estrategias de solución para de esta manera mejorar la planificación y ejecución de las actividades de mantenimiento preventivo aplicadas a la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL, lo cual concuerda con el propósito de esta investigación.

Dentro de la investigación se estudiaron todos los equipos y componentes que constituyen los sistemas de la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL, así como sus características y recursos que forman parte importante de los planes de mantenimiento.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Para realizar la presente investigación, se tomó como referencia los ocho (8) sistemas que conforman la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL: Unidades Motrices, Sistema de Elevación, Aditamentos, Sistema de Excavación, Sistema de Giro, Sistema de Traslado, Sistema Neumático y Sistema de Lubricación. Así mismo, se involucró al personal encargado de realizar el mantenimiento del equipo, conformado por: cuatro (4) jefes de área, encargados de coordinar los mantenimientos realizados en la pala, cuatro (4) ingenieros supervisores, encargados de supervisar y planificar los trabajos realizados en la pala, cuatro (4) supervisores de turno, los cuales supervisan al personal obrero, cuatro (4) técnicos operadores, encargados de operar la pala para el mantenimiento, ocho (8) técnicos mecánicos, ocho (8) técnicos electricista, diez (10) mantenedores, dos (2) planificadores, dos (2) analistas y dos (2) SIAHO el cual informan sobre el impacto en seguridad industrial, ambiente e higiene ocupacional, para un total de 48 personas.

3.2.2. Muestra

Debido al propósito de la investigación y al gran impacto que produce la incidencia de fallas a la Pala y por ende al proceso de excavación del mineral de hierro, además del interés por recaudar la mayor cantidad de información posible con el fin de facilitar la toma de decisiones, se aplicaron técnicas de criticidad que permitieron jerarquizar los Sistemas de la Pala, por lo que la muestra estudiada está conformada por el Sistema Crítico, según la aplicación de la metodología de Impacto

- Esfuerzo, el cual correspondió al Sistema de Excavación, y el ENT conformado por quince (15) personas: un (1) Ingeniero Supervisor, dos (2) Técnicos Mecánicos, dos (2) Jefes de áreas Supervisores, dos (2) Operadores, dos (2) Técnicos Electricistas, dos (2) Mantenedores , un (1) Analista de Mantenimiento, un (1) Planificador, un (1) SIAHO y un (1) Facilitador.

3.3. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

La recolección de datos fue realizada mediante diferentes herramientas entre las que se destacan:

3.3.1. Observación directa

Esta técnica se empleo, con la finalidad de conocer en detalle todos los equipos que conforman los distintos sistemas de la Pala; como se efectúan las operaciones de mantenimiento, además de conocer como esta estructurado organizacionalmente el Departamento de Mantenimiento. De igual manera esta técnica permitió visualizar la función que desempeña cada uno de los componentes que conforman los distintos sistemas de la Pala Eléctricas P&H modelo 2100 BL, así como también el estado físico de éstos, los cuales sirvieron de base para el desarrollo del diagnostico de la situación operacional actual.

3.3.2. Entrevista directa al personal del área

En esta técnica, se llevaron a cabo visitas que permitieron recolectar la información necesaria para la investigación, a través de entrevistas personales e informales en forma verbal, que involucraron directamente al personal (supervisores, operadores y conductores) que laboran en el Taller de Palas y Taladros, los cuales aportaron sus conocimientos basados en la experiencia, permitiendo obtener información no sesgada, precisa, y detallada acerca de las causas raíces de las fallas recurrentes que presenta la pala. También se llevaron a cabo entrevistas no estructuradas, bajo las características de reuniones informales con el equipo natural de trabajo que conforma la muestra de estudio.

3.3.3. Consultas directas de fuentes de archivos

A través de esta técnica, se obtuvo una serie de información correspondiente a las fallas en la Pala Eléctrica, además de documentación que releva las diferentes actividades de mantenimiento emprendidas por la empresa con el propósito de minimizar la problemática descrita.

De la misma manera se recopiló información estadística referente a las fallas recurrentes que presentó la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL en el periodo comprendido entre los meses de mayo 2007 y mayo 2008, así como también el rendimiento que obtuvo la pala para de esta manera determinar las pérdidas de carga del mineral de hierro producidas por los diferentes modos de fallas. Toda esta información se adquirió a través del departamento de producción y el departamento de mantenimiento de Palas y Taladros, ambos suscritos a la gerencia de minería.

3.3.4 Manejo de programas de computación

Con la ayuda de esta técnica fue posible facilitar la organización y presentación de los datos y resultados de una manera más sencilla, ordenada y práctica, utilizando como apoyo los paquetes computarizados Microsoft Word, Microsoft Power Point, Microsoft Excel y Visual Basic.

3.4 Etapas de la investigación

El desarrollo del problema se hizo bajo la modalidad de un estudio de aplicación basado en una investigación de campo, en donde se llevo a cabo un procedimiento que generó un modelo para dar solución a la problemática planteada, el mismo es ilustrado a continuación. (ver figura 3.1)

Con el fin de visualizar y sistematizar más cómodamente el procedimiento utilizado. A continuación se describen las fases del mismo:

3.4.1. Fase 1: Revisión bibliográfica

Este primer paso consistió en la búsqueda, ubicación, recopilación, revisión y selección de material bibliográfico (revistas y/o manuales técnicos, trabajos de grado, estándares y datos divulgados por medios impresos audiovisuales y electrónicos, Internet entre otros) con la cual se obtuvo información teórica variada y necesaria

para adquirir conocimientos previos, referente a los métodos de Diagrama de Pareto y Causa Raíz los cuales fueron de gran utilidad para el desarrollo del trabajo.

3.4.2. Fase 2: Diagnóstico de la situación actual de los componentes de la pala P&H modelo 2100 BL, en su contexto operacional.

Una vez finalizado el periodo de revisión bibliográfica, se procedió a realizar un diagnóstico el cual contemplo un inventario de todos los componentes y equipos que participan en los sistemas de la Pala, así como también se realizaron inspecciones visuales que nos permitieron conocer las condiciones actuales en que se encuentran todos los componentes y equipos que la conforman, tanto en su estructura como de su operación. Para ejecutar dicha inspección, se elaboró e incluyó un formato que sirvió de apoyo para recolectar toda la información, este formato detalla cuatro (4) condiciones las cuales permitieron evaluar a los componentes de los sistemas que conforman la Pala de acuerdo a los criterios establecidos en los Manuales de Taller emitidos por la empresa P&H Minepro Sevices Venezuela, las cuales son: Bueno: significa que no hay condiciones adversas, por lo que no existen daños. El componente y el conjunto están conforme a lo especificado. Admisible: no esta enteramente dentro de lo especificado; entre tanto puede operar sin efectos adversos. Malo: fuera de especificación. El componente o el conjunto deben ser reparados en la primera oportunidad para impedir daños mayores. Crítico: necesita reparación inmediata; puede causar grandes daños y provocar accidente. (ver apéndice A)

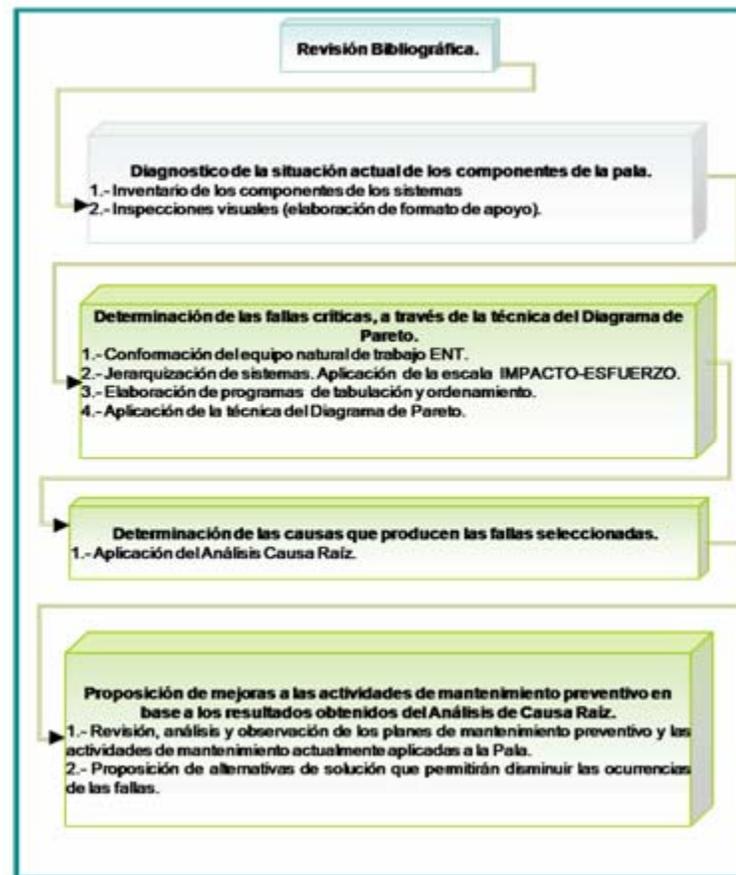


Figura 3.1. Procedimiento utilizado para dar solución a la problemática descrita.

Fuente: El Autor

3.4.3. Fase 3: Determinación de las fallas críticas, a través de la técnica del diagrama de pareto

Para el desarrollo de esta fase se contaron con todos los reportes diarios de fallas emitidos por el departamento de Palas y Taladros. Se aplicó la escala de Impacto-Esfuerzo para definir y prioriza los sistemas críticos de la Pala, una vez definido el sistema crítico se recurrió a la elaboración de un programa en Visual Basic y Microsoft SQL 2005 como base de datos, para la tabulación y ordenamiento

de las fallas que produzcan demoras, indicando el tiempo acumulado en minutos de demoras y la frecuencias en que ocurre la falla en el periodo comprendido entre Mayo de 2007 hasta Mayo de 2008, una vez elaborado el listado de fallas se procedió a la aplicación de la técnica del Diagrama de Pareto para determinar las fallas que tienen mayor impacto en la Pala. En la representación gráfica de las fallas se utilizó el programa Microsoft Excel.

El departamento de Palas y Taladros cuenta con archivos donde guardan los históricos de fallas de los equipos, debido al poco tiempo que se presentó para realizar esta investigación, fue necesario elaborar un programa computarizado que permitió vaciar toda esta información (registrar las fallas) y acelerar la búsqueda de una manera más eficiente, a continuación se presenta una breve explicación del funcionamiento del programa elaborado. La figura 3.2 muestra una presentación del Sistema de Registro de Falla, en donde la primera pestaña se introduce toda la información necesaria para registrar las fallas, la misma abarca aspectos como: equipo al cual le ocurrió la falla, fecha en que ocurre la falla, las demoras que ocasiona la falla (en minutos), el estado en que la falla deja al equipo y una breve descripción de la falla ocurrida.

Estado De Fallas

Registrar | Modificar | Listado

Fecha: 8/19/2008
Falla No.: 01

Registro de falla

Equipo: 29-23

Información Del Equipo

FMO: 29-23
SAP: 1000215
Marca: 7634
Modelo: 210000
C.C.: 100

Información De La Falla

Desde: 01:00
Hasta: 01:10
Estado: ACC

Descripción:

Agregar Falla

Leyenda

IE/R: Espera de repuestos	B: Bien
ACC: Accidentado	FP: Falta de personal
MOP: Mala Operación	RMT: Reparación Mayor Técnicos

Figura 3.2. Sistema de reporte de falla para la pala eléctrica P&H modelo 2100 BL (Registro de Fallas).

Fuente: El Autor

La figura 3.3 presenta la segunda ficha, en esta parte se puede modificar la información introducida en la primera pestaña, es decir, se puede corregir cualquier error que se halla cometido registrando las fallas.

The screenshot shows a web-based form for modifying a fault report. At the top, there are navigation tabs for 'Registra', 'Modificar', and 'Listado'. The main title is 'Modificar falla'. On the left, there are input fields for 'Falla No.' and 'Equipo'. Below these is a section titled 'Información Del Equipo' with fields for '# FMO', '# SAP', 'Marca', 'Modelo', and 'C.C.'. On the right, there is a section titled 'Información De La Falla' with 'Desde' and 'Hasta' date pickers and a 'Descripción' text area. At the bottom, there is a 'Leyenda' section with a grid of codes and their meanings: IE/R (Espera de repuestos), ACC (Accidentado), MOP (Mala Operación), B (Bien), and FT (Falta de personal). The date '01/01/2008' is displayed in the top right corner.

Figura 3.3. Sistema de reporte de fallas para la pala eléctrica P&H modelo 2100 BL (Modificar Fallas).

Fuente: El Autor

La figura 3.4 muestra la tercera pestaña en donde se puede listar las fallas, de acuerdo al periodo seleccionado de dos maneras las cuales son:

- **Tiempo de demora:** se ordenan las fallas de manera descendente en minutos de demoras acumulados, es decir, a la falla con mayor cantidad de minutos de demora acumulados le corresponde el primer lugar y de esta forma se ordena de manera decreciente las demás fallas.
- **Frecuencia de ocurrencia:** se ordenan las fallas de manera descendente expresada en cantidad de veces que ocurrió la falla en el periodo considerado, es decir, a la falla con mayor frecuencia de ocurrencia acumulada le corresponde el primer lugar y de esta forma se ordena de manera decreciente las demás fallas.

Una vez listadas las fallas, se puede graficar los resultados para la aplicación de la técnica del Diagrama de Pareto.



Figura 3.4. Sistema de reporte de fallas para la pala eléctrica P&H modelo 2100 BL (Listado de Fallas).

Fuente: El Autor

3.4.4. Fase 4: Análisis de las causas que originan las fallas críticas por medio de la técnica de Causa Raíz

Una vez identificadas las fallas críticas del sistema menos confiable, se procedió al estudio de las causas que las producen a través de la técnica del Análisis Causa Raíz (ACR). Para el desarrollo de este análisis se contó con un equipo natural de trabajo que proporcionó información valiosa para la construcción de los árboles lógicos de fallas.

3.4.5. Fase 5: Proposición de mejoras a las actividades de mantenimiento preventivo en base a los resultados obtenidos del análisis de causa Raíz.

Luego de haber encontrado las causas raíces de las fallas críticas, se propusieron alternativas de solución que permitirán disminuir las ocurrencias de las fallas, considerando a su vez los parámetros técnicos de diseño y operacionales de cada uno de los equipos sometidos a estudio; para esto se reviso, analizó y observó detalladamente los programas de mantenimiento preventivo y las actividades de mantenimiento actualmente aplicadas a la Pala P&H modelo 2100 BL.

Finalmente se realizaron recomendaciones que les permitirán a la organización realizar el estudio de las causas que originan las fallas críticas presenten en los otros sistemas que conforman la Pala eléctrica P&H modelo 2100 BL, para de esta manera establecer las acciones correctivas necesaria para poder alcanzar las mejoras continuas del equipo.

CAPITULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Diagnostico de la situación actual de los componentes de la pala P&H modelo 2100 BL, en su contexto operacional.

El contexto operacional permite definir y conocer cómo debe funcionar y como está funcionando un sistema, componente u equipo, es decir, permite identificar desviaciones en cada uno de ellos que pueden ser reparados y mejorados. Es por ello que se describe el contexto operacional de los sistemas que conforman la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL, partiendo de la descripción de cada uno de ellos, para luego especificar la filosofía de operación del mismo. Para lograr definir el contexto operacional de la Pala en estudio fue necesario ubicar los manuales de taller, los cuales fueron aportados por el departamento de Palas y Taladros de la empresa Ferrominera Orinoco C.A.

Para afianzar aún más el diagnostico se elaboró un formato, el cual fue aplicado por separado para cada uno de los componentes que conforman los sistemas anteriormente mencionados ayudando a recaudar toda la información necesaria en cuanto a su estado actual. Entre los aspectos evaluados se encuentran, la cantidad de mantenimiento aplicado, nivel de limpieza y orden, estado operativo, entre otros aspectos que permitieron establecer un criterio sobre el estado general de los mismos los cuales se mencionan a continuación:

- **Bueno**: no hay condiciones adversas, por lo que no existen daños. El componente y el conjunto están conforme a lo especificado.
- **Admisible**: no esta enteramente dentro de lo especificado; entre tanto puede operar sin efectos adversos. No necesita de cuidados inmediatos.
- **Malo**: fuera de especificación. El componente o el conjunto deben ser reparados en la primera oportunidad para impedir daños mayores.
- **Crítico**: necesita reparación inmediata; puede causar grandes daños y provocar accidente.
- **No verificado**: no verificado por falta de condiciones.

Es importante resaltar que para la realización del diagnostico, se contó con la ayuda del personal de operaciones como el de mantenimiento, los resultados que se presentan en las tablas A.1, A.2, A.3, A.4, A.5, A.6 y A.7 del apéndice A. son productos de la aplicación de la técnica de observación directa (inspección visual) y el aporte técnico de los manuales de taller aportados por la empresa. También debe señalarse que las observaciones que se presentan en la hoja de información fueron realizadas justo en el momento de la inspección de la Pala.

4.1.1 Sistemas y componentes de la pala eléctrica P&H modelo 2100 BL.

La Pala eléctrica tiene como función principal realizar el proceso de excavación y carga del mineral de hierro, el cual consiste en recoger el mineral del frente de

producción para luego descargarlo en los camiones. Para que la pala realice esta actividad son indispensables una serie de equipos y componentes los cuales conforman los diferentes sistemas que permiten realizar esta labor, entre ellos tenemos: Unidades Motrices, Sistema de Elevación, Aditamentos, Sistema de Excavación, Sistema de Giro, Sistema de Traslado, Sistema Neumático y Sistema de Lubricación.

En la tabla 4.1 se presentan los ocho (8) Sistemas de la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL, conjuntamente con los componentes que la conforman.

La excavadora P&H modelo 2100 BL, está energizada y controlada eléctricamente. Todas las funciones de trabajo de la excavadora son mandadas por motores eléctricos conectados a transmisiones mecánicas que se emplean para impartir los distintos movimientos de la maquina. La corriente alterna (AC) se suministra a la excavadora a través del cable de cola, conectado al sistema de distribución de la mina. La energía procedente del cable de cola se suministra a los transformadores, a los distintos gabinetes de control eléctrico y al motor principal a través de anillos deslizantes en la parte inferior del bastidor giratorio.

Tabla 4.1. Sistemas y Componentes Principales de la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL.

SISTEMA	N° DE PARTE	COMPONENTES
Unidades Motrices	U4773-6N	Motor Principal.
	R51914J53F1	Conjunto de la Caja de Cadenas.
	20T906D1/ 20T9076D2	Generadores (Traslado/ Excavación, y Giro).
	20Z1475	Acoples.
Elevación	20T9509D3	Unidad de Magnetorque.
	R54714F1	Caja de Engranaje.
	15R11D4	Freno de Elevación.
	13Z263D1	Tambor de Elevación.
Aditamentos	15N786D2	Pórtico.
	14P642	Pluma.
	14Z5D2	Amortiguador de la Base de la Pluma.
	16Z665	Conjunto de la punta de la Pluma.
Excavación	U47773-6R	Motor de Excavación.
	18T1425	Transmisión por Correas en V.
	20T9705D1	Transmisión de Excavación.
	100J2088F3	Eje de Mando del Brazo del Balde.
	20N322	Bloque de Soporte.
	923J79F2	Conjunto de Desenganche de la Puerta del Balde.
Giro	U47770-R3	Motores de Giro.
	18T17282D1	Transmisión de Giro.
	10N570	Ejes.
	27Z734D1	Frenos.
	20P1484	Círculo de Rodillos.
	20P844D2	Engranaje de Giros.
	20P1858D5	Carrilera de los Rodillos.
	25Z1077D1	Muñón Central.
Traslado	U4774-2R	Motor de Propulsión tipo reversible.
	5110J53F2	Transmisión Propulsora.
	51100T1	Eje Propulsor horizontal.
	4J158D2	Ejes y Tambores de Mando de las Orugas.
Neumático	20T8245D1	Compresor de Aire.
	20T9114	Filtro de Aire.
	25Z246D11	Reguladores.
	87Z493D1	Lubricadores.
	56P1F1	Válvulas Selenoides.
	16P1754D1	Rotocámara.
Lubricación	R56460D2	Controlador por Circuito Lógico Programable (PLC).
	17Z546D2	Bombas de grasa para engranajes abiertos
	18Z782D2	Propulsores
	20Q257D2	Tanques almacenadores de grasa

Fuente: El Autor

El motor principal rinde dos funciones: suministrar la fuerza para izar el Balde y mandar a los generadores de giro, excavación y traslado. Los Magnetorques están conectados directamente hacia la izquierda del motor, mientras que los generadores están conectados al costado derecho del motor principal mediante una transmisión de cadena. Los Magnetorques son embragues de corrientes parasitas que permiten al operador controlar la cantidad de fuerza de excavación al variar la corriente a través de los embragues. Cuando el operador excita los Magnetorques, la atracción magnética entre los miembros interiores y exteriores, hace que los miembros interiores giren con los exteriores. Los generadores de excavación/traslado se emplean para convertir la energía mecánica giratoria suministrada por el motor principal, en corriente directa (DC) utilizada para impartir fuerza a los movimientos de giro y excavación/traslado. Estos movimientos se controlan variando la energía suministrada a los motores. Las maquinas auxiliares como el compresor de aire, están impulsadas por medio de motores AC individuales.

4.1.1.1 Unidades motrices

- **Motor principal:** El motor principal es del tipo de inducción, con el rotor en corto-circuito, de velocidad constante y unidireccional. Este manda al sistema de elevación desde el costado izquierdo y los generadores desde el lado derecho. El motor principal no tiene anillos deslizantes, conmutadores, escobillas o porta escobillas. En la figura 4.1 se muestra el motor principal y su estándar de funcionamiento. Esta instalación esta diseñada para operar a 4160 Voltios, 60 Hz y 3 fases, así como también está dotado de resistencias de motores para evitar condensación y compensadores capacitivos para mejorar el factor de potencia.

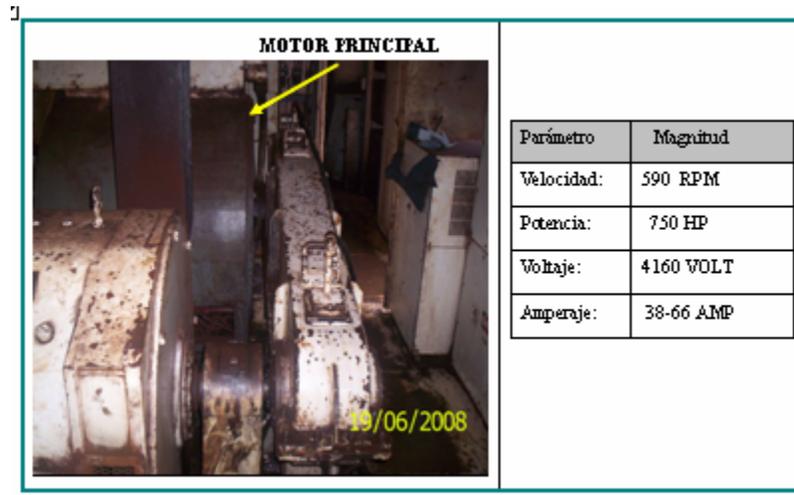


Figura 4.1. Estándar de funcionamiento del motor principal.

Fuente: Ferrominera Orinoco C.A.

- Conjunto de la Caja de Cadenas:** El conjunto está formado por la catalina de mando, la cadena de mando y el eje de toma de fuerza. La fuerza del motor principal es transferida a través de la cadena al eje de toma de fuerza. El eje de toma de fuerza transfiere esta fuerza, para hacer girar los generadores. La caja de la cadena contiene aceite para lubricar las piezas en movimiento. Hay un filtro de aceite instalado en la manguera de succión de la bomba de lubricación y un interruptor de flujo en la manguera de descarga. Si el interruptor de flujo detecta insuficiencia de flujo, paralizará la excavadora. Este interruptor de flujo está inoperante cuando la excavadora se encuentra en la modalidad de traslado. La figura 4.2 muestra la caja de cadena acoplada al motor principal y a los generadores de giro, traslado/excavación.



Figura 4.2. Conjunto de la caja de cadenas.

Fuente: Ferrominera Orinoco, C.A.

- Generadores:** Los generadores disponen de una caja dividida y un bastidor totalmente soldado sin conexiones internas entre las mitades superior e inferior. Las cubiertas grandes permiten el acceso fácil a los conmutadores y escobillas. Los ejes pueden desmontarse fácilmente sin alterar los enrollados. Los ventiladores internos aspiran aire y brindan ventilación forzada a través de los enrollados y sobre los conmutadores. La figura 4.3 muestra el estándar de funcionamiento que comprende el generador de traslado/excavación y generador de giro.

	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parámetro</th> <th>Magnitud</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Velocidad:</td> <td>1550 RPM</td> </tr> <tr> <td>Potencia:</td> <td>168 HP</td> </tr> <tr> <td>Voltaje:</td> <td>250-900 VOLT</td> </tr> <tr> <td>Amperaje:</td> <td>672 AMP</td> </tr> </tbody> </table>	Parámetro	Magnitud	Velocidad:	1550 RPM	Potencia:	168 HP	Voltaje:	250-900 VOLT	Amperaje:	672 AMP
Parámetro	Magnitud										
Velocidad:	1550 RPM										
Potencia:	168 HP										
Voltaje:	250-900 VOLT										
Amperaje:	672 AMP										

Figura 4.3. Estándar de funcionamiento de los generadores de giro, traslado / excavación.

- **Acoples:** Como se muestra en la figura 4.4 los acoples utilizados son de pasador con bridas flexibles, los cuales están llenos de grasa para su lubricación y sellados mediante sellos anulares y una junta. Estos acoples no están fijos a los ejes y pueden extraerse a mano con la ayuda de un extractor.

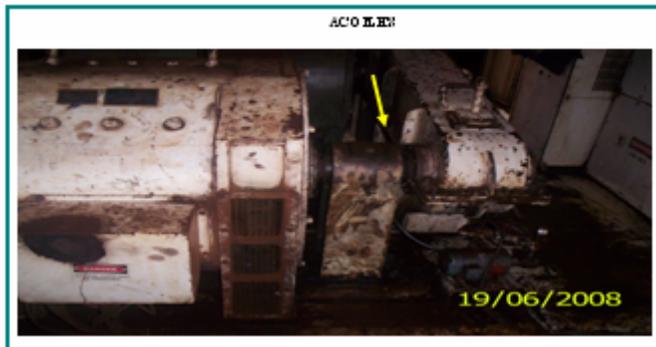


Figura 4.4. Acoples utilizados para conectar los diferentes mecanismos de la excavadora.

De acuerdo a los resultados especificados en la tabla A.1 del apéndice A. se puede decir que en líneas generales todos los equipos que conforman este sistema desempeñan un funcionamiento normal, cumpliendo así con los parámetros de diseño. Sin embargo todo el conjunto presentó un nivel de limpieza bajo, destacando en este caso los generadores, el cual se le observó rayas y golpes externos en la carcasa, además de manchas de grasas. Se observó que a la unidad cuenta con un plan de mantenimiento preventivo, el cual es aplicado.

4.1.1.2 Sistema de elevación

El sistema de elevación se emplea para izar el balde y este baja por gravedad, como se muestra la figura 4.5 este sistema está formado por el motor de mando principal, la unidad de magnetorque, la caja de engranajes, freno de elevación y el tambor de elevación.

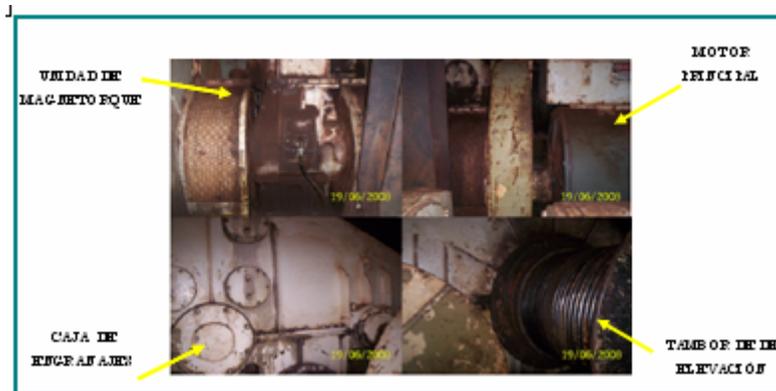


Figura 4.5. Sistema de elevación.

Fuente: Ferrominera Orinoco, C.A

El motor de mando principal, es un motor unidireccional, de velocidad constante que suministra la fuerza para la elevación. Los campos de la unidad de magnetorque se hacen girar por el motor principal a través de un acoplamiento mecánico y al aplicar excitación a los enrollados de campo de los miembros giratorios, el pasador del piñón del magnetorque manda el engranaje de elevación intermedio.

El engranaje de elevación intermedio esta montado en el eje del piñón intermedio de elevación. El piñón esta cortado con dientes rectos y transmite el par de torsión al engranaje principal de elevación que esta atornillado a una estrella montada directamente al tambor de elevación. El engranaje principal de elevación es mandado a través del tren de engranajes, el tambor de elevación gira y eleva el balde a través de los cables de elevación que pasan por las poleas de la punta de la pluma, en la figura 4.6 se puede observar de forma esquematizada las posiciones de los diferentes componentes que conforman la maquinaria del mecanismo de elevación.

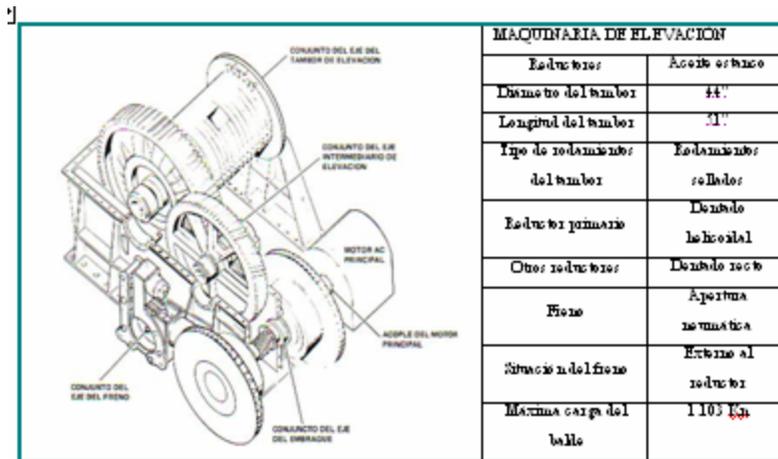


Figura 4.6. Características de la maquinaria del mecanismo de elevación.

Fuente: Manual de Taller Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL.

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla A.2 del apéndice A, en condiciones generales todo el sistema opera de acuerdo a lo especificado, sin embargo es importante resaltar que se observó grasa adherida a las rejillas del ventilador del magnetorque, esta condición debe ser corregida lo antes posible ya que la grasa puede tapar las rejillas dañando el enfriamiento. También se observó una fuerte fuga de aceite por los retenedores del tambor, lo que significa que las gomas están vencidas y necesitan remplazo. Es importante resaltar que a pesar de contar con listado de actividades de mantenimiento ya elaborado, éstas no se cumplen dentro del tiempo establecido. También debe señalarse que la limpieza era realizada de forma incompleta, es decir de forma superficial.

4.1.1.3 Aditamentos

En la figura 4.7 se puede observar el esquema de los aditamentos el cual está constituido por el pórtico, la pluma, amortiguador de la base de la pluma y el conjunto de la punta de la pluma.

El pórtico está construido de perfiles de acero estructural soldado y conectado mediante pasadores al bastidor giratorio. La parte delantera, o miembro a compresión, está hecha de secciones de caja robusta soldada en una sola unidad. La sección trasera o miembro de tensión, está conectada mediante pasadores a la plataforma de máquinas y a la parte superior del miembro de compresión. Los cables de suspensión están sujetos a los compensadores, que a su vez están conectados mediante pasadores en el pórtico.

La pluma es una viga en forma de caja construida a base de soldadura. Está provista de diafragmas, para darle resistencia a la torsión. La base de la pluma es ancha con piezas de acero fundido soldadas al cuerpo. Los puntos de apoyo de la base, incorporan amortiguadores de grupos de discos de goma que a su vez recoge los esfuerzos de la aceleración y desaceleración del giro. Cuatro (4) cables de suspensión están sujetos a los compensadores, que a su vez están sujetos a la pluma por medio de pasadores.

	<p>CARACTERÍSTICA DE LOS CABLES DE LA EXCAVADORA</p> <p>Cable de elevación (2 requeridos) Tipo: 14 Tamaño: 1-3/4 de pulgada Longitud: 260 pie</p> <p>Cables de suspensión Tipo: 25 Tamaño: 2 de pulgada Longitud: 48 pie **ángulo de la pluma 45°**</p> <p>Cable de desenganche del balde Tipo: 12 Tamaño: 9/16 de pulgada Longitud: 40 pie</p>
--	---

Figura 4.7. Aditamentos y características técnicas de los cables de la excavadora.

Fuente: Manual de Taller Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL.

Los rodillos de la base de la pluma dan apoyo al mismo, los amortiguadores de la base ayudan a los rodillos y rinden la función de amortiguación. Estos protegen los componentes de la pluma y del bastidor giratorio de los esfuerzos que se desarrollan a través del empuje lateral, procedente de la aceleración y desaceleración del movimiento giratorio éstos, están sostenidos mediante los pasadores de la base de la pluma. El conjunto de la punta está formado por el pasador, las poleas, retenedores, rodamientos y espaciador y se sostiene en su lugar mediante dos chumaceras divididas que a su vez permiten que todo el conjunto pueda desmontarse e instalarse sin desarmarlo.

De acuerdo con los resultados de la tabla A.3 del apéndice A, los componentes del sistema se encuentran en buenas condiciones y operan conforme a lo especificado por fábrica.

4.1.1.4 Sistema de excavación

La maquinaria de excavación, está formada por el motor de excavación, la transmisión por correas en V, la transmisión de excavación, el eje de mando del brazo del balde, brazo del balde, bloques de soporte y el conjunto de desenganche de la puerta del balde. La maquinaria de excavación está montada sobre la pluma como se muestra en la figura 4.8.

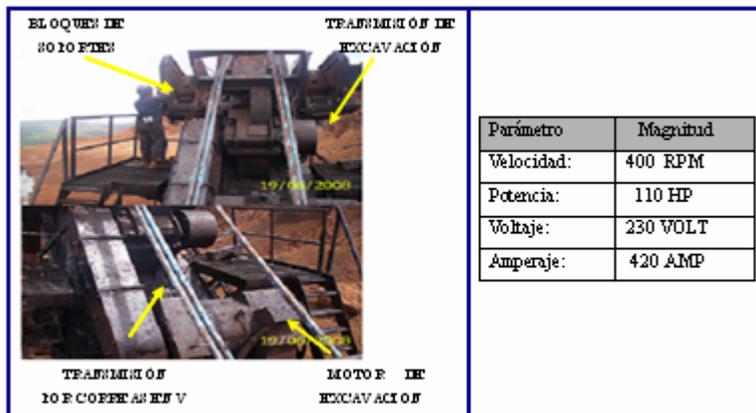


Figura 4.8. Maquinaria y estándar de funcionamiento del motor de excavación

Fuente: Ferrominera Orinoco, C.A.

El motor de excavación está montado cerca de la base de la pluma. Su función es mandar al tren de engranajes en la caja de engranajes de excavación, a través de la banda de correas en V, la cual está formada por una serie de correas en V con un respaldo común. El respaldo común evita que las correas individuales excedan su giro sometida a cargas súbitas.

En la figura 4.9 se muestra las características de la maquinaria de excavación, así como también el eje de mando del brazo del balde dentro de la pluma, el cual es mandado por la transmisión de excavación. Los piñones del eje de mando están montados en cada extremo del eje. Estos piñones mandan las cremalleras soldadas a la parte inferior de los brazos del balde para extender y recoger el balde. Los brazos del balde se sostienen en posición por los bloques de soporte que están suspendidos de cada extremo del eje de mando.



Figura 4.9. Características técnicas de la maquinaria de excavación.

Fuente: Manual de Taller Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BLM

En el conjunto de desenganche de la puerta del balde, el motor y tambor están montados en un marco en el miembro de compresión del pórtico (ver figura 4.10). El cable procedente del tambor es encausado sobre las poleas de desenganche del balde en el bloque de soporte hacia la palanca de desenganche del balde en la pluma y hacia el balde. Al motor se le aplica un voltaje constante, el cual permite que el motor mantenga una onda en el cable de desenganche. Cuando el operador tira de la palanca de desenganche, pone en corto las resistencias en series con el campo del motor y la

palanca de desenganche del balde retira la barra del pestillo, permitiendo que la compuerta se abra.

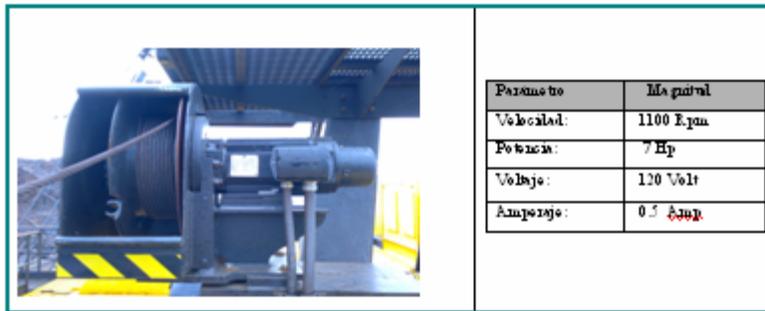


Figura 4.10 Conjunto y estándar de funcionamiento del motor de desenganche de la puerta del balde.

Fuente: Ferrominera Orinoco, C.A.

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla A.4 del apéndice A. El sistema de excavación se encuentra operando de forma limitada, debido a que actualmente los bujes del eje de mando de los brazos del balde presentan un excesivo desgaste, esta condición se observó por que el eje presentó demasiado juego axial. Así como también se observó que los ductos de ventilación del motor de excavación estaban despegados de su base, lo cual afecta las condiciones de operación del motor.

Las condiciones de las cremalleras de los brazos del balde son críticas, se observaron pequeños saltos entre los piñones y la cremallera, también se pudo observar que el conjunto no estaba con una lubricación adecuada y los desajustes en los marcos separadores de los bloques de soporte era evidente, lo que significa que los componentes de dicho conjunto deben ser reparados en la primera oportunidad para impedir daños mayores.

En lo que se refiere a la limpieza se observó que ésta no se cumple; la grasa rodea todo los componentes inclusive las pasarelas de acceso a la pluma. En este estado los trabajadores están frente a una condición insegura pudiendo causar en cualquier momento accidentes, se deben tomar acciones para corregir esta falla lo más pronto posible ya que puede causar daños mayores.

En cuanto al conjunto de desenganche de la puerta del balde se encontró operando conforme a lo especificado, no hay condiciones adversas, por lo que no existen daños en el componente ni en el conjunto.

Es importante señalar que las actividades de mantenimiento que se aplican a la maquinaria de excavación son pocas y no se encuentran debidamente especificadas en los planes de mantenimiento.

4.1.1.5 Sistema de giro

El sistema de giro, está formado por los motores de giro, las transmisiones, los ejes, los frenos, el círculo de rodillos, los engranajes de giro, la carrilera de los rodillos y el muñón central. La potencia de giro la proveen dos motores de corriente directa de acción rápida, montados verticalmente en la parte superior de las transmisiones de giro, las mismas transmiten la fuerza desde el motor de giro al eje de giro y poseen tres (3) reducciones de engranaje. La figura 4.11 muestra el estándar de funcionamiento del motor de giro.

La caja de engranaje tiene suficiente lubricante de manera que la segunda y tercera reducción de engranajes se encuentra sumergida en aceite. Los engranajes de

la primera reducción se lubrican por la salpicadura del impelente que se encuentra en el extremo del eje del motor.

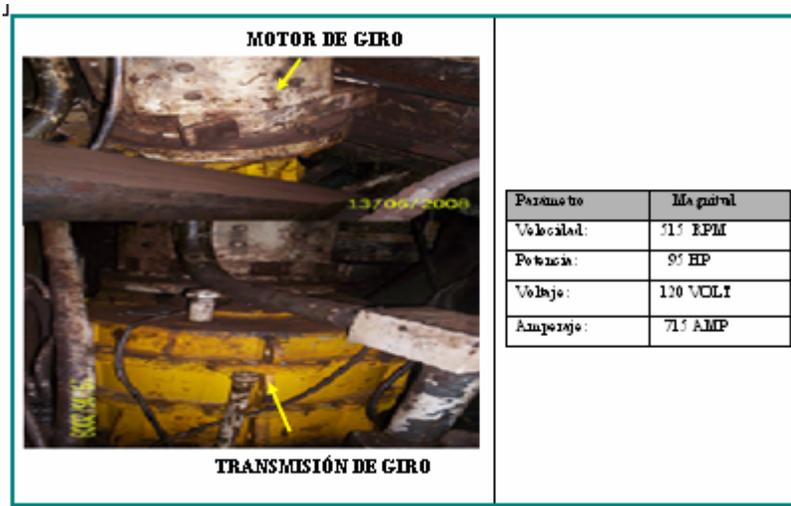


Figura 4.11. Estándar de funcionamiento del motor de giro.

Fuente: Ferrominera Orinoco, C.A.

La caja de engranaje, está construida en tres secciones, cada sección está espigada y atornillada a la sección de caja adyacente. El extremo estriado del eje de giro se acomoda dentro de la transmisión de giro. El eje de giro se sostiene en posición por el retenedor de rodamiento. El piñón se acomoda en las estrías y se sostiene en posición por una arandela y tuerca enroscada en el extremo roscado del eje. La figura 4.12 muestra las características de la maquinaria de giro.

Los rodillos actúan como rodamientos entre el bastidor giratorio y la caja del carro, y luego se trasladan entre la carrilera exterior y la carrilera interior. La carrilera superior de rodillos está sujeta a la cara inferior del bastidor giratorio mediante presillas soldadas al bastidor. La carrilera inferior de rodillos esta soldada a la corona en la caja del carro. El engranaje de giro es la corona estacionaria grande que se

encuentra entre el bastidor giratorio y la caja del carro. Esta corona esta atornillada a la caja del carro. El piñón de giro acopla en la corona para hacer girar la parte superior de la maquina; también es el asiento o superficie de montaje para la carrilera inferior de los rodillos.

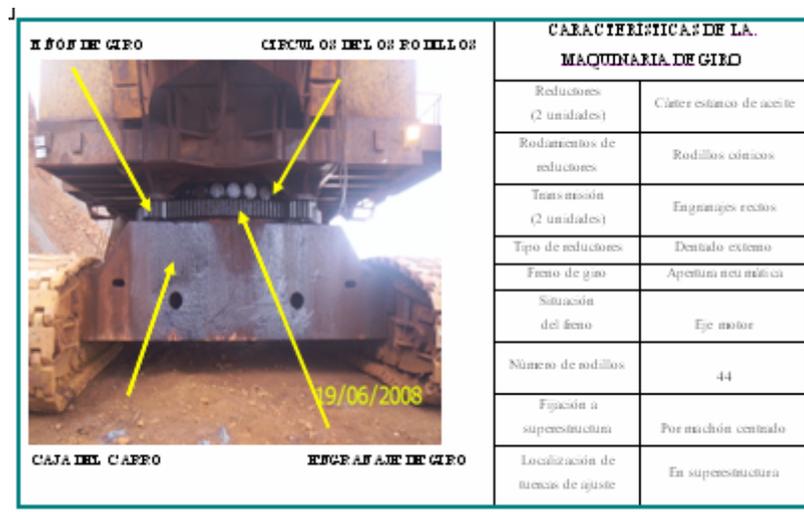


Figura 4.12. Características del conjunto de la maquinaria de giro.

Fuente: Manual de Taller Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL.

La tabla A.5 del apéndice A muestra los resultados de la inspección realizada al sistema de giro, en ella podemos apreciar que los piñones de giro se encuentran en una situación crítica, debido a que los dientes están muy afilados y con picaduras, de la misma manera se evidenció que los dientes del engranaje de giro están con mucho desgaste y un afilado pronunciado pudiendo quebrar en cualquier momento por la concentración de carga. La lubricación del conjunto es deficiente, los rodillos de giro están desgastando la estructura del bastidor giratorio por falta de grasa. Lo que significa que el conjunto debe ser intervenido de inmediato ya que puede ocasionar grandes daños y provocar accidentes.

4.1.1.6 Sistema de traslado

La maquinaria de propulsión es el motor de propulsión de tipo reversible, la transmisión propulsora, el eje propulsor horizontal, los ejes y tambores de mando de las orugas que impulsan la excavadora. La fuerza propulsora está provista por un motor reversible de corriente directa. La salida del motor propulsor se transmite a través del eje de toma de fuerza a una transmisión de triple reducción. El eje de salida de transmisión manda la mitad hembra de los embragues propulsores, estos embragues están ubicados en el área del freno del mecanismo de propulsión.

Un embrague está mandado directamente y el embrague opuesto se manda a través del eje propulsor horizontal que pasa a través de la base del motor y se extiende a través de la caja del carro. Cuando las mordazas de los embragues de dirección están acopladas en los embragues propulsores, los piñones reductores de los mandos finales impulsan los tambores de mando de las orugas. En la figura 4.13 se muestra el estándar de operación del motor de propulsión y la maquinaria impulsora.

El peso de la excavadora, se transmite a las zapatas de la oruga a través de los rodillos. Los rodillos se sostienen en su lugar mediante un pasador perno, arandela de seguridad y tuerca. La oruga está formada por las zapatas, sujetas una a la otra mediante pasadores que hacen una oruga movable sobre la cual se traslada la excavadora. La oruga distribuye uniformemente el peso de la excavadora sobre el terreno. Las zapatas de la oruga están hechas de acero manganeso, el ancho y cantidad utilizada varía según el modelo de la excavadora. La figura 4.14 muestra las características técnicas de la maquinaria de traslado.

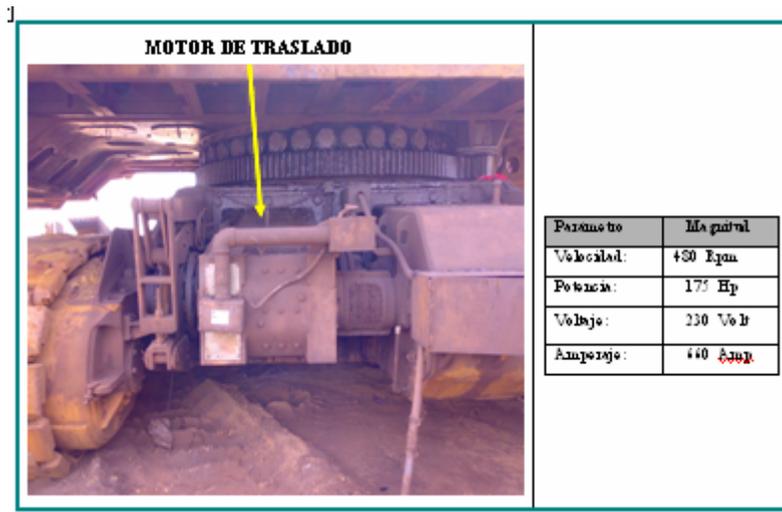


Figura 4.13. Estándar de funcionamiento del motor de traslado.

Fuente: Ferrominera Orinoco, C.A.

La rueda delantera libre es de construcción de pestaña doble. Los ejes de la rueda libre son de gran diámetro para tolerar las máximas cargas de inclinación, y de diámetro uniforme para evitar la concentración de esfuerzos. Las láminas de ajuste que se encuentran entre el rodamiento y los bastidores laterales de la oruga, brindan el ajuste de las mismas.

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla A.6 del apéndice A en cuanto a la inspección realizada a todos los componentes pertenecientes al sistema de traslado, se puede decir que los mismos operan sin condiciones adversas, por lo que no existen daños, es decir los componentes y el conjunto están conforme a lo especificado.



Figura 4.15. Estándar de Funcionamiento del Motor del Compresor.

Fuente: Ferrominera Orinoco, C.A.

En el sistema neumático están incluidos siete paneles de control. Estos son: la cámara Plenum, el torno neumático, aire a la parte inferior de la maquina, frenos de giro y de excavación, tablero de lubricación, freno de elevación y el tablero neumático del freno de dirección y traslado que está ubicado en el centro de la caja del carro.

Un drenaje de la línea principal se utiliza para drenar la condensación de los conductos neumáticos. El tablero de control neumático de la cámara Plenum, permite que el aire filtrado y lubricado, a presión regulada, penetre las cámaras Plenum cuando una válvula solenoide, normalmente cerrada se acciona.

El tablero de control del torno neumático simplemente regula la entrada del aire al motor del torno neumático. El aire al tablero de control de la parte inferior de la maquina, suministra aire filtrado y lubricado al tablero neumático de los frenos de

dirección y propulsión en la caja del carro. El tablero neumático de la parte inferior de la maquina distribuye aire regulado a través de válvulas solenoides normalmente cerradas, a los cilindros neumáticos de la dirección y frenos de propulsión. Hay una válvula de descarga rápida en cada conducto neumático, hacia los cilindros de los frenos de propulsión, para ayudar en la descarga rápida de los frenos. El tablero de control de los frenos de giro y de empuje, suministra aire regulado, filtrado y lubricado, a las rotocámaras de los frenos de excavación y de giro. El aire suministrado a los frenos de giro es controlado por una válvula solenoide normalmente cerrada, mientras que el freno de excavación se controla mediante una válvula solenoide normalmente abierta. El tablero de control neumático del freno de elevación, deja entrar el aire filtrado y lubricado a través de una válvula solenoide normalmente cerrada hacia la rotocámara del freno de elevación.

La tabla A.7 del apéndice A muestra los resultados de la inspección realizada al sistema neumático. Mediante la misma se hace referencia al compresor de aire ya que este componente se encuentra operando con bajo rendimiento, debido a varios aspectos que se mencionan a continuación:

El Presostato se encuentra mal ajustado: está entre (100 y 150 Psi), cuando lo requerido para este sistema es de (145 y 175 Psi), lo que significa que debe ser reajustado ya que coloca en riesgo todos los frenos de la maquina.

El sistema presenta fugas de aires que no han sido identificadas esto se observa por que el compresor actúa constantemente, incluso cuando el equipo está fuera de operación.

Por ultimo podemos mencionar que se encontró mucha agua alrededor del reservorio lo que nos afirma que no hay un drenaje continuo del mismo. Todo el

conjunto necesita ser revisado para descartar daños mayores y evitar que el agua contamine el sistema.

4.1.1.8 Sistema de lubricación

La máquina está provista de un sistema de lubricación automática, controlado eléctricamente mediante un Controlador por Circuitos Lógicos Programables (PLC) o cronómetros accionados reumáticamente (ver figura 4.16). El engrase de las maquinas de la parte superior, parte inferior y de las maquinas de la pluma, se realiza a través de una estación de engrase central ubicada en la parte superior de la maquina.

El sistema está diseñado para engrasar toda la maquinaria mientras esta excavando, una vez cada 15 minutos. Cuando se está trasladando, es posible inyectar grasa a la maquina inferior con mucho mayor frecuencia, mientras que la parte superior y las maquinas de la pluma no reciben lubricación.

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla A.8 del apéndice A, Podemos decir que las condiciones generales del sistema de lubricación son buenas, salvo algunas observaciones que se detallan a continuación:

Actualmente el controlador lógico programable (PLC), no está en funcionamiento, por lo que el equipo no se encuentra lubricado de manera permanente, es decir que no posee un ciclo de lubricación estable.

Se observó que los tanques contenedores de grasa se encuentran con aberturas permitiendo la contaminación del sistema.



Figura 4.16. Vista del controlador lógico programable (PLC) y bombas de grasa para engranajes abiertos.

Fuente: Ferrominera Orinoco, C.A.

4.2. Conformación del equipo natural de trabajo (ENT)

Todo equipo o sistema a mantener debe de tener un grupo de trabajo reducido que incluya por lo menos una persona de la función de mantenimiento y otra de la función operación; la antigüedad de los miembros del grupo es menos importante que el conocimiento de las unidades o sistemas que se estén estudiando. Por esto la metodología del ACR requiere que el ENT este conformado por un facilitador general, un supervisor de producción, un supervisor de mantenimiento, operadores, un asesor externo, siaho y planificador.

El departamento de Palas y Taladros adscrito a la superintendencia de mantenimiento, posee un personal multidisciplinario conformado por 48 personas, el cual es el encargado de la operatividad de las Palas Eléctricas y los taladros rotativos en la mina.

Como lo exige la metodología del ACR, la conformación de este equipo estuvo integrado por personal del área de mantenimiento además del personal de operaciones y el facilitador, conocedor de las metodologías a ser empleadas quien fue el encargado de conducir al personal relacionado con el proceso de excavación que desempeña la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL. Los miembros principales de este equipo de trabajo fueron los siguientes:

En total este equipo lo conformaron 15 personas, que representa el 30% de los trabajadores del Departamento de Palas y Taladros (ver tabla 4.2).

Una vez conformado el ENT, la metodología del ACR establece que se deben realizar reuniones periódicas para discutir ideas, propuestas y estrategias que ayuden a obtener mejoras operativas y de mantenimiento del sistema en estudio.

Tabla 4.2. Distribución del equipo natural de trabajo.

Fuente: El Autor

NOMBRE Y APELLIDO	CARGO
Jesús Suárez.	Especialista en Procesos.
Alidez Bartolozzi.	
Pedro Berenguel	Técnico Mantenimiento Mecánico y Electricista.
Erwin Guzmán.	
Irvin Gil.	
José Rivas.	Supervisor de Producción.
Dixon Martínez.	Operador.
Luis Peinado.	Analista de Mantenimiento.
Pablo Bolívar.	
Miguel Fuentes.	

Josmel Tovar.	Planificador de Mantenimiento.
Jesús Alfaro.	
José Ramírez.	SIAHO.
Muruan Kátar.	
Yojan Blanco.	Facilitador.

4.3 Análisis de criticidad. Matriz impacto – esfuerzo

Para establecer mejoras en las actividades de mantenimiento preventivo aplicadas a la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL, es necesario conocer cuáles son los sistemas que tienen mayor índice de criticidad, para así poder orientar con más exactitud los recursos en la solución de las fallas que presentan los diferentes equipos u componentes de cada sistema, la jerarquización de los sistemas de la pala es un aspecto fundamental en el desarrollo de la técnica del ACR, ya que sirve de gran apoyo, pues nos crea una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, conduciéndonos a mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual.

Para jerarquizar los diferentes sistemas que conforman la Pala Eléctrica modelo 2100 BL, el ENT decidió aplicar la escala de IMPACTO-ESFUERZO, la cual se adaptó a la realidad operativa de la empresa permitiendo evaluar factores tanto en el área de mantenimiento como en el área operacional. Estos factores fueron relacionados con una ecuación matemática, que generó puntuación para cada sistema evaluado el cual convirtió la importancia relativa de cada factor del sistema en valores cuantitativos. El ENT respondió a las preguntas de los ítems establecidos en la guía de Impacto mostrada en la figura 2.6 del marco teórico.

Los factores evaluados en el periodo de estudio Mayo 2007- Mayo 2008 estuvieron asociados con: impacto en seguridad, impacto ambiental, porcentaje de procesamiento afectado, costos de reparación, tiempo promedio para reparar (TPPR) e impacto en producción (por falla), Una vez cuantificadas las áreas correspondientes, el impacto total de cada uno de los sistemas se calculó mediante la ecuación establecida en la figura 2.7 del marco teórico. Los resultados se presentan en la tabla 4.3.

Una vez obtenidas las escalas de impacto y esfuerzos se procedió a graficar estos valores en la matriz de prioridades mostrada en la figura 2.8 y 2.9 del marco teórico; para el sistema de unidades motrices, se ubicó primero el impacto y luego el esfuerzo dentro de la matriz, y así sucesivamente con los demás sistemas. Dicha matriz, nos permitió obtener una lista ordenada de mayor a menor prioridad, es decir, se seleccionaron los sistemas que presentaron mayor impacto y menor esfuerzo. Los resultados se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.3. Escala impacto-esfuerzo para los sistemas de la pala P&H modelo 2100 BL.

Fuente: El Autor.

Impacto= (Nivel de Producción x TPPR x Impacto de Producción) + Costo de Reparación + Impacto de Seguridad + Impacto Ambiental									
Sistemas Pala 2100 BL	% Procesamiento Afectado	Impacto Producción	TPPR	Costo de Reparación	Impacto Seguridad	Impacto Ambiente	Total Impacto	Escala	
								I	E

<i>Unidades motrices</i>	4	0,3	2	3	25	0	30,4	1	1
<i>Elevación</i>	4	0,3	1	3	25	0	29,2	1	3
<i>Aditamentos</i>	1	0,05	1	3	25	0	28,05	1	1
<i>Excavación</i>	12	0,3	6	5	25	15	66,6	3	1
<i>Giro</i>	6	0,3	4	3	25	0	35,2	3	3
<i>Traslado</i>	6	0,3	4	3	25	0	37,2	3	5
<i>Neumático</i>	6	0,3	2	3	25	0	31,6	1	3
<i>Lubricación</i>	1	0,05	4	3	25	0	28,2	1	1

De acuerdo al orden de prioridad establecido por la matriz, el sistema que presentó mayor impacto y menor esfuerzo, resultó ser el correspondiente al sistema de excavación por lo cual el estudio se centrará en las fallas críticas de los diferentes equipos y componentes que conforman dicho sistema.

Tabla 4.4. Niveles de prioridad para los sistemas de la pala P&H modelo 2100 BL.

Fuente: El Autor.

<i>Sistemas Pala 2100 BL</i>	<i>Escala Impacto</i>	<i>Escala Esfuerzo</i>	<i>Prioridad</i>
<i>Unidades motrices</i>	1	1	7
<i>Sistema de Elevación</i>	1	3	8

<i>Aditamentos</i>	1	1	7
<i>Sistema de Excavación</i>	3	1	3
<i>Sistema de Giro</i>	3	3	5
<i>Sistema de Traslado</i>	3	5	6
<i>Sistema Neumático</i>	1	3	8
<i>Sistema de Lubricación</i>	1	1	7

4.4. Determinación de las fallas críticas, a través de la técnica de diagrama de pareto

Utilizando la data histórica de la pala, el ENT decidió enfocar la Recolección estadística de las fallas en tiempos de demora, en el periodo comprendido entre los meses de mayo de 2.007 hasta mayo 2.008, de los registros diarios emitidos por el departamento de Palas y Taladros suscrito a la superintendencia de mantenimiento. Para la recolección se elaboró un programa (Registro de Fallas), que permitió vaciar todo el historial de fallas de la pala. Dicho programa arrojó un listado de fallas (ver tabla B.1 del Apéndice B) en el cual se reflejan de manera decreciente respecto a los minutos de demoras acumulados todas las fallas presentadas en el periodo de estudio.

La figura 4.17 muestra el Diagrama de Pareto, en el cual se reflejan los tiempos de demoras que generaron los diferentes modos de falla que se presentan en la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL. De acuerdo a la línea horizontal que nace desde el punto de 80% y baja al tocar la curva, se puede interpretar que las fallas que están a la izquierda de la línea vertical, representan el 20% de las fallas críticas que están ocasionando el 80% de las demoras en el proceso de excavación, lo que significa que dichas fallas deben ser atacadas primordialmente por el Taller de Mantenimiento de Palas y Taladros para mejorar la disponibilidad del equipo.

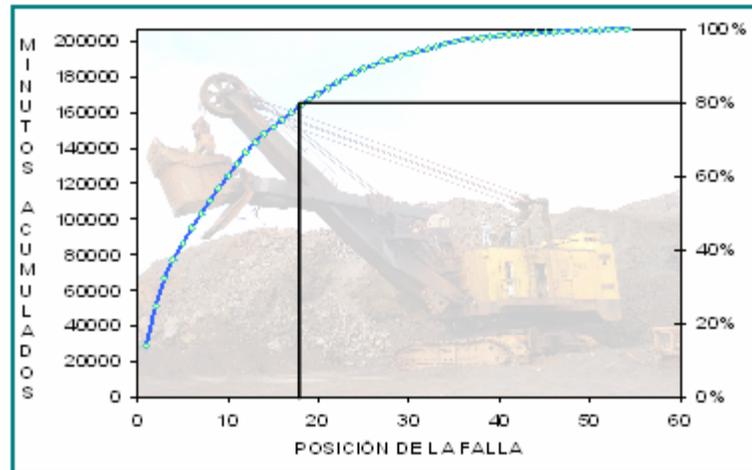


Figura 4.17. Diagrama de Pareto por demoras, período Mayo 2.007- Mayo 2.008

Fuente: El Autor.

De esta manera y con la aplicación de la metodología del Diagrama de Pareto se determinó que las principales fallas que se presentan en los distintos componentes de cada uno de los sistemas que conforman la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL de manera recurrente y que representan gran impacto en el proceso de excavación. (Ver tabla 4.5)

Tabla 4.5. Principales fallas que presentan los sistemas de la pala P&H modelo 2100 BL.

Fuente: El Autor.

Nº	FALLAS	TIEMPO DE DEMORA (M)	ACUMULADO
1	Daños en los rodillos de giro.	28570	28570
2	Daños en el muñón central (Center Pin).	22840	51410
3	Fallas en el Motor de excavación (Crowd).	15040	66450
4	Rotura del eje de Giro (Swing) lado derecho (R-H).	10820	77270
5	Daños en el eje de mando principal de excavación (Crowd).	9200	86470

6	Rotura de la guaya de abrir la puerta del balde (Dipper-Trip).	8380	94850
7	Orugas largas u/o flojas.	7900	102750
8	Fallas en la cremallera del brazo del balde (Rack).	7500	110250
9	Fallas en el Motor de Giro (Swing) lado izquierdo (L-H).	7100	117350
10	Daños en el freno del motor de excavación (Crowd).	6940	124290
11	Fallas en el cable de alimentación de la pala (cable explotado).	6550	130840
12	Rotura en la base de la guaya tensora lado derecho (R-H) parte superior.	6440	137280
13	Rotura en las tejas de la oruga lado derecho (R-H).	6100	143380
14	Daños en la rueda motriz.	4390	147770
15	Rotura en el círculo de los rodillos de giro.	4140	151910
16	Fallas en el compresor, presenta baja presión de aire.	4140	156050
17	Rotura de la cadena de abrir la puerta del balde	4000	160050

Sin embargo el ENT decidió clasificar las fallas por sistemas (ver tabla 4.6) y enfocar el estudio a las fallas que presenta el sistema de excavación, ya que fue el que reflejo mayor impacto y menor esfuerzo según la metodología empleada (Escala IMPACTO-ESFUERZO), todo esto con el fin de desarrollar y entender de el origen de éstas, la frecuencia con que aparece y el impacto que genera, por medio del estudio de los distintos factores físicos, humanos y latentes, que podrían originarla.

Tabla 4.6. Clasificación de las fallas críticas para cada sistema que componen la pala eléctrica P&H modelo 2100 BL.

Fuente: Del Autor.

Sistema de Traslado (Propel)	Sistema de Excavación (Crowd)
<p>Fallas eléctricas: 1-Fallas en el cable de alimentación de la pala (Cable explotado).</p> <p>Fallas mecánicas: 1-Orugas largas u/o flojas. 2- Rotura de las tejas de la Oruga lado derecho. 3-Daños en la rueda motriz.</p>	<p>Fallas eléctricas: 1-Fallas en el Motor de Excavación. 2-Fallas en el freno del motor de excavación.</p> <p>Fallas mecánicas: 1-Fallas en la cremallera del brazo del balde (Rack) 2-Daños en el eje de mando principal. 3-Rotura de la guaya de abrir la puerta del balde (Dipper-Trip). 4-Rotura de la cadena de abrir la puerta del balde.</p>
Sistema de Giro (Swing)	Sistema Neumático
<p>Fallas eléctricas: 1-Fallas en el Motor de giro lado izquierdo</p> <p>Fallas mecánicas: 1-Rotura del eje de giro (Swing R-H) lado derecho. 2-Daños en los rodillos de giro. 3-Rotura en círculo de los rodillos de giro. 4-Daños en el muñón central (Center Pin).</p>	<p>Fallas eléctricas: 1-Fallas en el Compresor, presenta baja presión de aire.</p>

La figura 4.18 muestra la representación porcentual de las fallas en la Pala Eléctrica según los resultados arrojados por el Diagrama de Pareto.

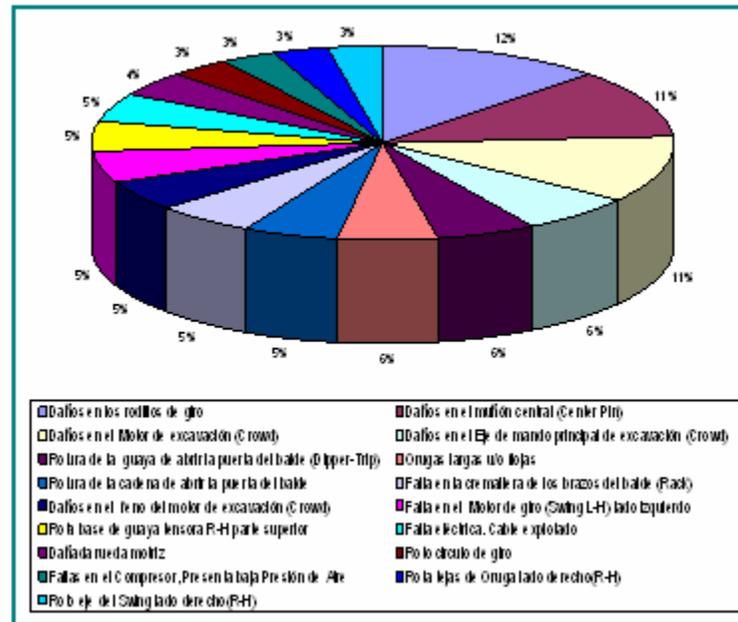


Figura 4.18. Relación entre las fallas presentes en función del tiempo de demora.

Fuente: El Autor

Otro parámetro que se obtuvo durante la recolección estadística aparte de los tiempos de demoras, fueron las pérdidas de producción en toneladas de mineral de hierro asociadas a las demoras en el periodo de Mayo 2.007 - Mayo 2.008. En la figura 4.19 se reflejan las toneladas de mineral de hierro que generaron las principales fallas, mediante el cual se evidencia el impacto que generan dichas fallas al proceso de excavación y carga del mineral, lo cual resulta razonable ya que dicha falla afectan directamente los objetivos de producción.

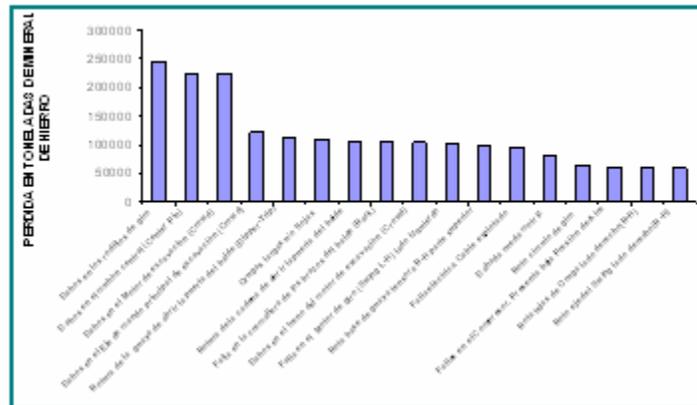


Figura 4.19. Pérdidas de carga del mineral de hierro asociadas a cada falla en el periodo de Mayo 2.007 – Mayo 2.008.

Fuente: El Autor.

4.5 Análisis de las causas que originan las fallas críticas en el sistema de excavación

La metodología del ACR se basa en un razonamiento deductivo (lógico), que comprende desde el problema hasta las causas, es decir de lo general a lo específico y utiliza como herramienta de análisis un “árbol lógico” para definir la causa raíz del evento o problema en estudio.

En base a las fallas críticas determinadas por el Diagrama de Pareto para el sistema de excavación, se procedió a realizar un Análisis de Causa Raíz mediante la técnica de árbol de fallas, esta técnica permite evaluar al sistema de excavación de una forma cualitativa, consistiendo en la determinación de todas las combinaciones de sucesos primarios que hacen fallar a los equipos y su finalidad consiste en la construcción de un modelo, que contemple tanto las fallas de los componentes como

las debidas a errores humanos, así como la influencia de los procedimientos de operación, prueba y mantenimiento del sistema de excavación. (Ver figura 4.20)

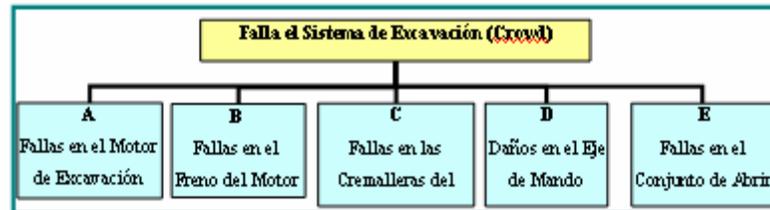


Figura 4.20. Representación mediante el árbol lógico de fallas dividido en bloques.

Fuente: El Autor

La construcción del árbol lógico, partió de las fallas críticas que ocasionan la parada del sistema de excavación determinadas por el Diagrama de Pareto. Dichas fallas se fueron analizando de una forma sistemática, hasta llegar a la raíz primaria, determinadas por el nivel de resolución del análisis posible o deseable. Para verificar las formas en que pueden ocurrir las fallas críticas y las causas que originan las mismas, el grupo natural de trabajo recurrió a la consulta con expertos en la materia, entrevistas no estructurada al personal encargado de las actividades de mantenimiento, revisión de la bibliografía especializada y observación directa de las actividades de operación y mantenimiento, encontrándose las causas raíces que originan esas fallas de forma recurrente, señaladas a continuación:

A. Fallas en el motor de excavación: Inducido dañado

Como se menciona anteriormente el motor de excavación es un motor de corriente continua (DC) y su función en el sistema de excavación es mandar al tren de engranajes en la caja de engranajes de excavación, a través de una banda de correas en V. La figura 4.21 muestra el árbol de falla, de una falla registrada en el motor de excavación, a través de este análisis se pudo detectar que la incidencia de la falla se

debió al daño del Inducido de dicho motor, el cual ocasionó la falla del motor trayendo como consecuencia la parada del sistema de excavación. De la misma manera y en base a las entrevistas realizadas al personal de mantenimiento encargado de las reparaciones de estos motores (Taller Eléctrico), se encontró que la raíz física, era el uso de las escobillas más allá de los límites aconsejados, ya que presentaban demasiado desgaste y deterioro, el cual representó que en estas condiciones el conductor conectado a las mismas, entrara en contacto eléctrico con el colector, ocasionando un cortocircuito en las delgas y produciendo averías en el mismo y por consiguiente al inducido del motor.

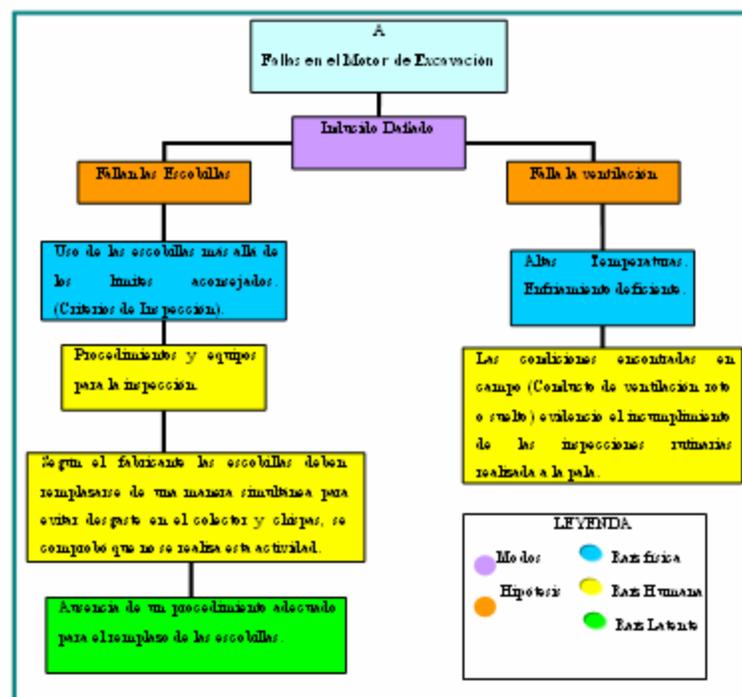


Figura 4.21. Bloque A del árbol lógico de fallas.

Fuente: El Autor

Una vez que el equipo se encontraba fuera de servicio por una labor de mantenimiento preventivo, se procedía a reestablecer las condiciones de funcionamiento, remplazando las escobillas del motor de excavación. La investigación relativa a las posibles raíces humanas, arrojó que el personal encargado del mantenimiento de los motores eléctrico (DC) de la pala no estaban cumpliendo con el cambio de este componente de manera correcta, de acuerdo a la actividad de inspección para el remplazo de estos elementos (Ver figura D.15 Item N°1 del Apéndice D). Especifica lo siguiente: “Chequee la tolerancia de desgaste o si alguna esta rota asegúrese que no desgastará antes de la próxima inspección”. Esta actividad no cuantifica el valor, ni un rango en el cual se considere que el componente este desgastado (especificaciones de desgaste) para poder tomar una decisión acertada del remplazo del mismo, por lo que el personal basado en su experiencia profesional decidían cambiar el componente de acuerdo a los rasgos físicos que presentaban las mismas (inspección visual). De esta misma manera se pudo evidenciar que no poseían ningún instrumento de medición que permitiera evaluar de una manera cuantitativa el porcentaje de desgaste que sufre el componente, por lo que si alguna de las cuatro escobillas, no presentaban ningún rasgo de desgaste pronunciado visible o alguna rotura, la misma no era remplazada. Por recomendaciones del fabricante el remplazo de las escobillas tiene que ser de forma simultanea, es decir, que al cambiar una escobilla se tiene que cambiar el resto, esto debido a que la presión que ejercen los muelles que aprietan las escobillas contra el colector es la misma para una escobilla nueva que para otra relativamente desgastada, por lo tanto la escobilla relativamente desgastada se desgastará más rápido que las otras, produciendo desgastes en el colector y chispas acortando la vida útil del colector. De esta manera encontramos una raíz latente al no contar con un procedimiento de inspección adecuado que establezca un criterio del cambio de las escobillas en lo que respecta a especificaciones de desgastes.

Por otro lado, mediante la observación directa en campo del equipo se evidencio la carencia de mantenimiento preventivo que se ejecuta a la pala, partiendo del hecho de que las inspecciones rutinarias del equipo no son cumplidas a cabalidad por el personal de mantenimiento. Puesto que se observó que el conducto de ventilación del motor estaba desacoplado de su base (ver figura 4.22), de igual manera esta condición genera que no se le suministre la ventilación adecuada al motor. La falta o poca ventilación para este motor produce un aumento en la temperatura del mismo. Aunque los daños no son inmediatos al cabo de cierto tiempo el aumento del calor deteriorara de manera progresiva y acumulativa los inducidos, degradándose el aislamiento y en consecuencia disminuirá la vida útil del motor.



Figura 4.22. Ducto de ventilación del motor de excavación.

Fuente: El Autor

B. Fallas en el freno del motor de excavación: El freno no libera

El freno del motor de excavación es un freno de disco de rotor único que se aplica por medio de muelles y se libera neumáticamente. Para que este freno se libere la presión ejercida al plato de presión del freno debe ser de (100 Lb/pulg²) como mínimo, en esta misma medida durante la operación del sistema de excavación el freno no se aplica excepto que el operador lo utilice por alguna emergencia o simplemente que la pala este en modo de transferencia, es decir, en modalidad de traslado. La figura 4.23 muestra el árbol de falla, que se utilizó para el análisis de ésta.

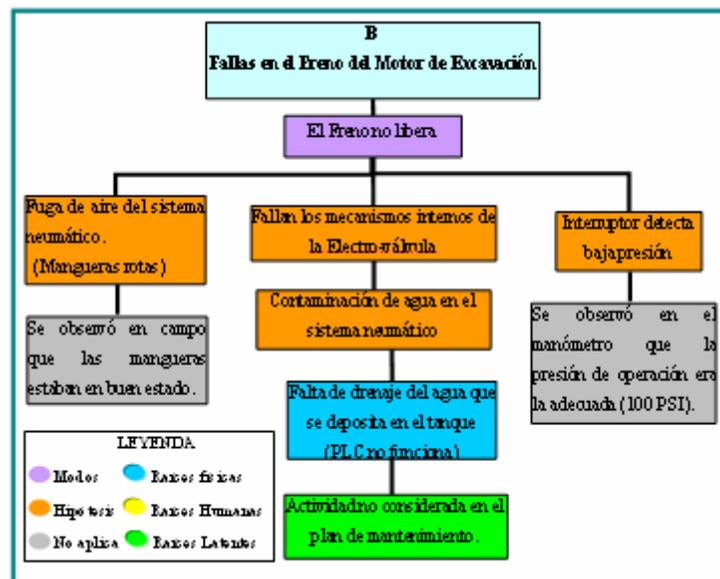


Figura 4.23. Bloque B del árbol lógico de fallas.

Fuente: El Autor

Según las observaciones de los expertos y las visitas realizadas al equipo durante su operación, se encontró que la causa raíz física, era el no funcionamiento

del controlador lógico programable (PLC), ya que no existía un drenaje automático de la condensación del agua que se deposita en el tanque de aire, por lo que el aire recorría las líneas con un alto contenido de humedad causando una mala lubricación de los mecanismo internos de la válvula selenoide produciendo resequedad y la ruptura de algunos componentes como lo es el fuelle. En vista del estado actual en que se encuentra el PLC y las consecuencias que genera debido a que no se cuenta con un drenaje automatizado del agua que se deposita en el tanque de aire, el personal de mantenimiento de palas y taladros decidió realizar el drenaje de forma manual, una sola vez por cada cambio de turno para disminuir el contenido de humedad del aire, lo cual no estaba especificado ni en el manual de taller ni en el programa de mantenimiento. De esta manera encontramos una raíz latente al no considerar esta actividad en el programa de mantenimiento.

C. Fallas en las cremalleras del brazo del balde: saltan los dientes de la cremallera

Las cremalleras del brazo del balde están acopladas con los piñones del eje de mando, el cual realiza el movimiento para recoger y extender los brazos del balde. Este equipo trabaja directamente con un frente de producción y está en contacto continuo con elementos abrasivos y corrosivos. Las cremalleras al igual que los piñones han venido presentando un desgaste acelerado y picados en los dientes, en esta medida durante la operación se producen saltos entre los dientes de los piñones y la cremallera trayendo como consecuencia una desincronización en el conjunto y una disminución en el movimiento de empuje. La figura 4.24 muestra el árbol de falla que se utilizó para el análisis de la falla anteriormente descrita.

Luego de aplicar el análisis, se pudo detectar que el equipo no estaba lubricado de forma permanente y eficiente, ya que al inspeccionar el sistema de lubricación de grasa computarizado, se observó que el PLC de lubricación automático no estaba en funcionamiento (Raíz física), por lo que esta condición ocasiona que las partículas de mineral de hierro (“fino negro”) que se encuentran dispersas en el ambiente de la mina se incrusten en la grasa contaminándola, generando concentración de tensiones, ruptura en la película lubricante y actuando como una especie de lija que acelera el desgaste y el picado por indentación de las superficies de los dientes de los piñones y las cremalleras del brazo del balde.

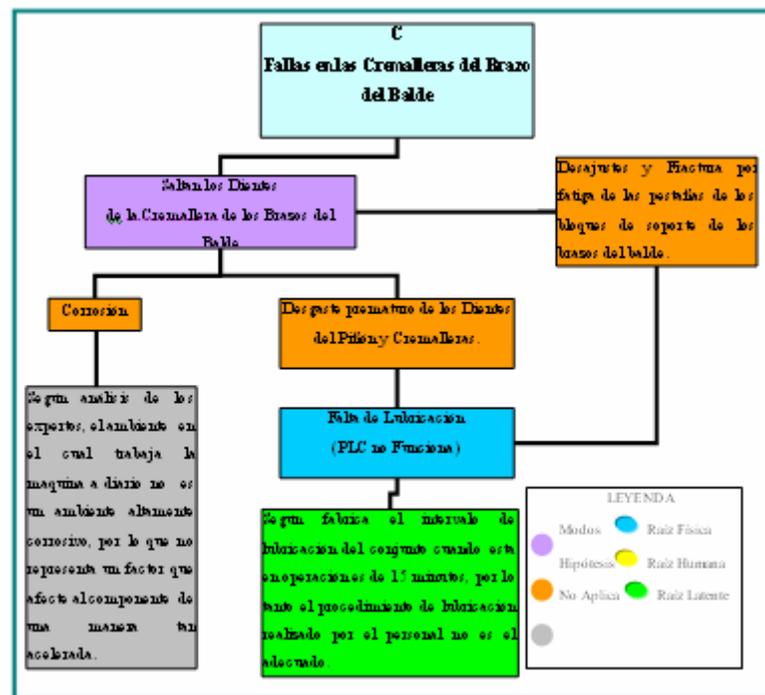


Figura 4.24. Bloque C del árbol lógico de falla.

Fuente: El Autor

Por otro lado, es importante resaltar que de acuerdo a las condiciones en la que se encontraba operando las cremalleras (ver figura 4.25), el personal de mantenimiento decidió parar la pala para realizarle una labor de mantenimiento

correctivo a dicho conjunto. En el proceso de desmontaje del conjunto, se fue observando que la falla primaria, es decir, el salto que se producía entre las cremalleras y los piñones del eje de mando, ocasionaba un desajuste en los marcos separadores, esto sumado a la falta de lubricación que ocasiona la fricción entre los elementos rodantes, produjeron la fatiga del material y daños estructurales a los bloques de soporte como es la ruptura de las pestañas. (Ver figura 4.26)



Figura 4.25. Desgaste acelerado y picado de los dientes de las cremalleras de los brazos del balde.

Fuente: El Autor.



Figura 4.26. Fractura por fatiga de las pestañas de los bloques de soporte de los brazos del balde.

Fuente: El Autor.

Estas observaciones ratifican los efectos que causa la inoperatividad del controlador lógico programable (PLC) del sistema automático de grasa, y le dan mayor respaldo en cuanto a la validación de la hipótesis.

Debido a que el sistema automático de lubricación esta inoperante la lubricación de estos componentes se hace de forma manual. Los mantenedores están encargados de activar las electro-válvulas (Solenoides) para que el sistema de lubricación empiece a bombear la grasa a los componentes, esta actividad es realizada una sola vez por cada cambio en la jornada de trabajo, el cual dura ocho (8) horas. De acuerdo con las especificaciones de lubricación dadas por el fabricante en el Manual de Taller, cuando la maquina esta operativa y realiza la excavación el intervalo normal de lubricación para este conjunto es de 15 minutos. De esta manera encontramos una raíz latente al no tener un procedimiento de aplicación adecuado para lubricar dicho conjunto.

D. Daños en el eje de mando principal: falla el engranaje de la segunda reducción

Como ya se mencionó anteriormente el eje de mando, es el que transmite el movimiento para recoger y extender los brazos del balde, éste eje se encuentra acoplado a una caja de engranajes, que transmite el par de torsión generado por el motor de excavación. El eje de mando cuenta con dos bujes o cojinetes de rotación en cada extremo, los cuales se encuentran dentro de la perforación de la pluma, estos bujes son los encargados de soportar las cargas producidas por el movimiento de empuje que desempeña el equipo cuando está excavando. Éste sistema se encuentra expuesto a elementos abrasivos y corrosivos, con tan solo 8 meses de haber remplazado el componente (bujes), presentaban un desgaste excesivo no uniforme en su interior y con una perdida visible del espesor de pared. La figura 4.27 muestra el árbol de fallos que se utilizó para el análisis de la falla registrada en el conjunto del eje de mando del sistema de excavación, a través de éste análisis se pudo detectar que

el desgaste no uniforme (falla primaria) ocasionó a su vez demasiado juego axial en el eje, el cual produjo una desalineación en el contacto de los dientes de los engranajes (falla secundaria), el cual trajo como consecuencia la fractura de los dientes (falla terciaria) producto de una concentración de carga no uniforme en la superficie de contacto de los dientes del engranaje.

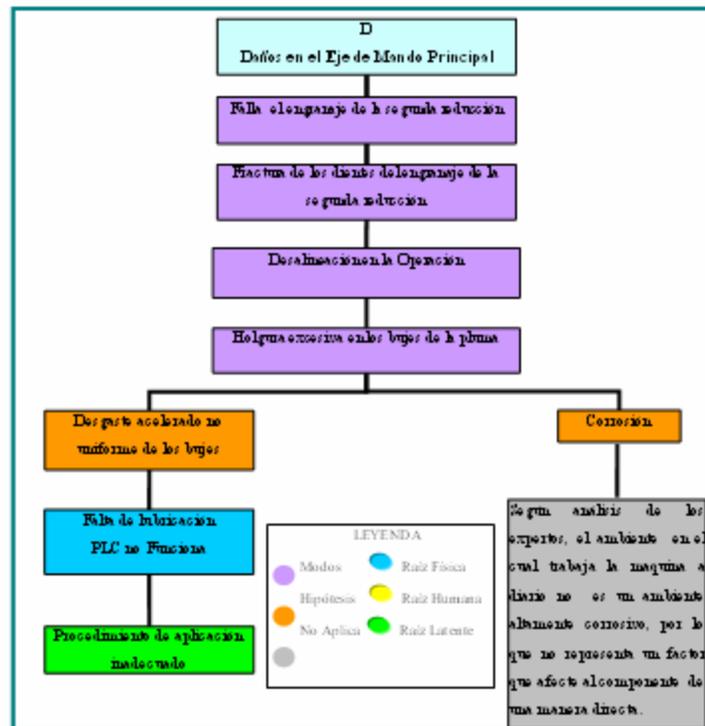


Figura 4.27. Bloque D del árbol lógico de falla.

Fuente: El Autor

De esta manera y de acuerdo con las entrevistas realizadas al personal de mantenimiento y a las inspecciones realizadas al sistema de lubricación automático, se encontró que la causa raíz física era la falta de lubricación producto del no funcionamiento del PLC, lo cual causó que el componente trabajara con poca grasa y

con grasa contaminada acelerando el desgaste y por ende una disminución en la vida útil del componente.

Al igual que en el análisis presentado anteriormente la misma raíz latente de no contar con un procedimiento de aplicación adecuado, tubo influencia directa en las fallas presentadas en el conjunto, ya que los intervalos de lubricación no eran los adecuados y esto aceleraba el proceso de desgaste natural de los bujes.

E. Fallas en el conjunto de abrir la puerta del balde: rotura de la guaya de abrir la puerta del balde

El movimiento de abrir y cerrar el balde trae desgastes en la palanca del pestillo, el ajuste de este conjunto representa un factor muy importante a la hora de activar la palanca de desenganche. Cuando este conjunto no esta ajustado (Raíz física), se crea un roce excesivo entre la barra del pestillo y el talón del balde produciendo que la compuerta no abra, ocasionando que el motor enrolle la guaya en el tambor templándola una y otra vez; esta condición es una de las causas relevantes en la ruptura de la guaya, pues ocurre un fenómeno de aplastamiento debido a la operación con cargas excesivas, éste aplastamiento ocasiona daños al distorsionar la sección transversal del cable, al adelgazar los alambres y al deformarse el alma, se genera un concentrador de esfuerzo que produce la fatiga mecánica en los alambres ocasionando la fractura de la guaya. La figura 4.28 muestra el árbol de falla que se utilizó para el análisis de la falla en el conjunto de desenganche de la puerta del balde.

La revisión relativa a los programas de mantenimiento de la pala, figura D.6 del apéndice D, inspección parte baja (Balde) en su ítem N° 2 establece lo siguiente: “Comprobar el funcionamiento de la barra de trancar la tapa del balde”. Se pudo verificar que el personal encargado de realizar estas actividades, no cumplía con los procedimientos establecidos por la empresa. Por recomendaciones del fabricante, una vez que ha sido remplazada la guaya y aún estando en funcionamiento, se debe

verificar la holgura de la palanca del balde con el talón del mismo, dicha holgura debe ser de por lo menos 6 milímetros para asegurar el libre movimiento de la palanca en el talón. Por otro lado, se comprobó en campo, que el calibre de la guaya es el establecido por el fabricante (9/16”). La causa raíz que se encontró en este bloque fue: El incumplimiento de los procedimientos del personal que ejecuta el mantenimiento correctivo/preventivo.

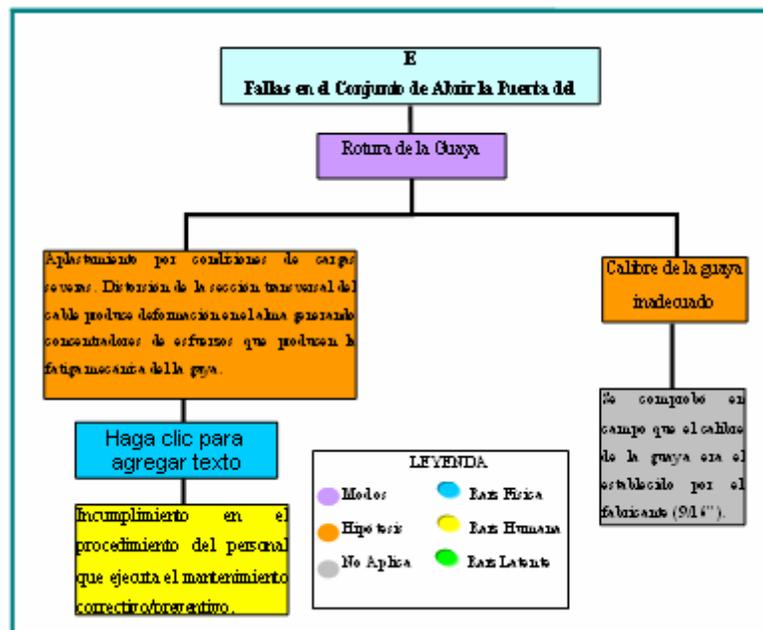


Figura 4.28. Bloque E del árbol lógico de falla.

Fuente: El autor

En la figura 4.29, se presenta un esquema general del análisis de Causa Raíz realizado a las fallas críticas del Sistema de Excavación de la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL.

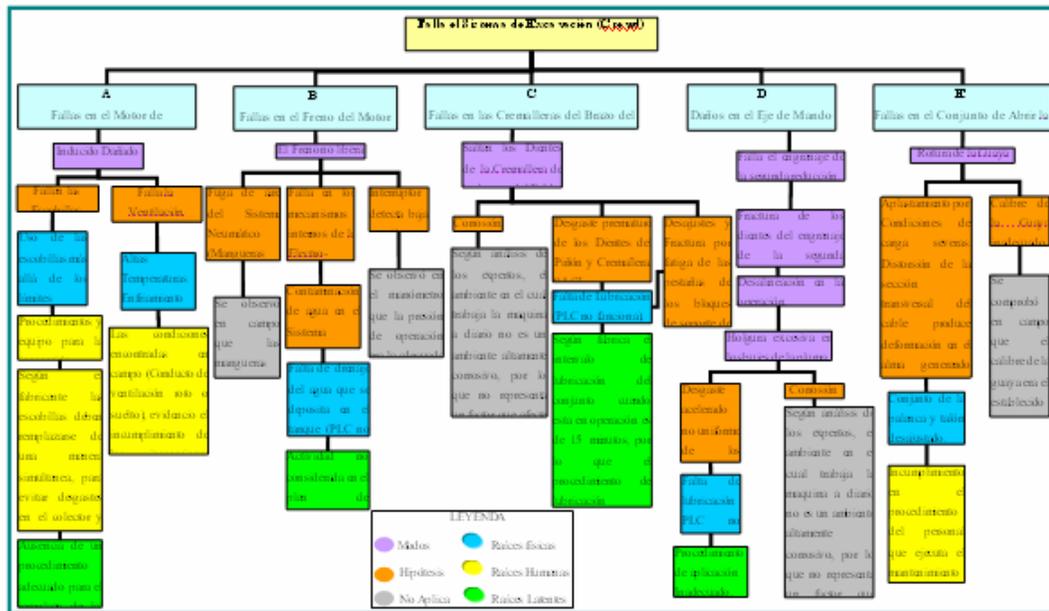


Figura 4.29. ACR realizado a las fallas críticas del sistema de excavación de la pala eléctrica P&H modelo BL

Fuente: El Autor.

4.6. Propuesta de mejoras en las actividades mantenimiento preventivo del sistema de excavación en base a los resultados obtenidos del análisis de causa raíz.

Conocidas las causas raíces físicas, humanas y latentes de las fallas críticas, que afectan al sistema de excavación y como parte de las estrategias en la búsqueda de mejoras en el desempeño operativo de los equipos que lo componen, se revisaron los planes de mantenimiento y las actividades de prevención de fallas aplicadas en ese momento por la empresa para la solución de las fallas que presenta el mismo.

Actualmente, las políticas de mantenimiento en la prevención de fallas para este sistema, se basan en actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, que

involucran a su vez un conjunto de inspecciones y chequeos a frecuencias sugeridas por el fabricante, realizándose a través de un conjunto de inspecciones y chequeos con intervalo de tiempos de 250, 500, 750 y 1.000 horas. Como resultado de la aplicación de estas políticas se encontraron los siguientes planes de mantenimiento para el sistema de excavación de la Pala Eléctrica modelo 2100 BL.

4.6.1. Mejoras a las actividades de mantenimiento preventivo del motor de excavación.

Los planes de mantenimiento que actualmente realiza la empresa, están divididos en cuatro etapas que son: inspección parte alta, parte baja, lubricación y la parte eléctrica. Según el formato FERRO-4800 03/98 (ver apéndice C, figuras C.15 y 16), referido a la parte eléctrica en el mantenimiento preventivo con frecuencias de ejecución de 250, 500, 750 y 1000 horas de la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL, las actividades a desarrollar por parte de la jefatura de turno de mantenimiento (Taller eléctrico San Isidro), en cuanto al motor de excavación en lo que respecta a las escobillas y porta-escobillas son las siguientes. (Ver tabla 4.7)

Tabla 4.7. Extracto de ítems referente al motor de excavación de la planilla de mantenimiento FERRO-4800 03/98, Parte Eléctrica: Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL

ESCOBILLAS Y PORTAESCOBILLAS		
ITEM	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	COD. TRAB.
1	Chequee la tolerancia de desgaste o si alguna esta rota asegúrese que no desgastará antes de la próxima inspección.	

2	Asegúrese del libre movimiento de las escobillas dentro de su porta-escobilla.	
3	Asegúrese que los tornillos de los hilos guía tipo rabo de puerco (pigtail) de los “carbones” estén apretados y aislados del resto de la máquina.	
4	Asegúrese que los derivadotes o “puentes” (shunts) de escobillas estén fijos a sus estructuras y que no hay conexiones flojas o tornillos prisioneros perdidos.	
5	Chequee que los porta-escobillas estén debidamente espaciados (1,78 milímetros entre porta-escobilla y la superficie del conmutador).	
6	Chequee la adaptabilidad de las escobillas al conmutador, corrija si es necesario.	
7	Limpie con un trapo o sople el sucio en el aislamiento de los tornillos de los porta-escobillas.	

Durante el periodo de revisión Agosto- Septiembre de 2.008, se encontraron las siguientes debilidades, en lo referente a los check list utilizado en la actualidad para el mantenimiento preventivo de la parte eléctrica del motor de excavación, en lo que respecta a las escobillas y porta escobillas:

- En relación al ítem 1, no se especifican las tolerancias a considerar para la evaluación del desgaste del componente, la técnica utilizada para evaluar el desgaste del mismo es la empírica, en la cual la experiencia del técnico electricista, es usada para intuir el desgaste en el mismo. Según las recomendaciones del fabricante se debe comprobar a través de mediciones el desgaste de las escobillas y se sugiere el remplazo de las mismas cuando estén gastadas en más de un 65 % de su estado inicial.

- En relación al ítem 5, la distancia de separación entre los porta-escobillas y la superficie del conmutador no es la correcta; el fabricante recomienda ajustar los porta-escobillas de manera que su parte inferior esté separada unos 6 milímetros del conmutador, ya que en el caso de que esta distancia fuera menor las escobillas pudieran quedar encasquilladas y por consiguiente causarían vibración y producción de chispas.

- En relación al ítem 6, la adaptabilidad de las escobillas al conmutador se verifica de acuerdo a la tensión de los muelles que aprietan las escobillas contra el conmutador, si la tensión no es la adecuada puede producirse el desgaste del colector y chispas, por lo tanto esta actividad no hace referencia a la presión adecuada que debe tener la escobilla sobre el conmutador. De acuerdo a las recomendaciones del fabricante se debe chequear la presión de los muelles, que debe ser de 0,15 a 0,2 kilogramos por cada centímetro cuadrado de superficie de escobillas en contacto con el conmutador.

- De acuerdo a las recomendaciones del fabricante se sugieren implementar dos nuevas actividades que complementen los check list utilizado en la actualidad para el mantenimiento preventivo de las escobillas y porta-escobillas del motor de excavación las cuales se muestran a continuación:
Inspeccionar que todas las superficies de las escobillas que están en contacto con el conmutador estén bien pulidas, con la finalidad de asegurarnos que el contacto es bueno.

a) Inspeccionar la posición de las escobillas, con el fin que cuando se cambie alguna escobilla debe asegurarse que se pone la nueva escobilla en la misma porta-escobilla y en la posición que tenía anteriormente la vieja escobilla.

b) Conocido el plan de mantenimiento y las frecuencias de ejecución de las actividades que actualmente se realizan al motor de excavación en lo que respecta a escobillas y porta-escobilla y de acuerdo a las debilidades que éste presenta, el ENT decidió hacer una propuesta para mejorar las actividades de mantenimiento actualmente aplicadas al motor de excavación. Cabe destacar que las frecuencias presentadas fueron determinadas por las recomendaciones del fabricante, por juicio de expertos y por experiencias con equipos similares. (Ver tabla 4.8)

Tabla 4.8. Propuestas de mejoras para las actividades de mantenimiento del motor de excavación.

Fuente: El Autor.

		GERENCIA DE MINERIA SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO			
PROPUESTA PARA LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO DEL MOTOR DE EXCAVACIÓN DE LA PALA ELÉCTRICA P&H MODELO 2100 BL					
Revisado: Ing. Jesús Suárez		Realizado: Br. Yojan Blanco		FECHA: Julio de 2.008	
ESCOBILLAS Y PORTA-ESCOBILLAS					
ITEM	ACTIVIDAD PROPUESTA	RESPONSABLE	FRECUENCIA		
1	Comprobar a través de mediciones el desgaste de las escobillas y reemplazar todas aquellas que estén gastadas en más de un 65 % de su estado inicial. Debe tomarse en cuenta que al reemplazar una escobilla de una línea se deben cambiar todas simultáneamente.	Técnico Electricista	500 horas		
2	Asegúrese del libre movimiento de las escobillas dentro de su porta-escobilla.	Técnico Electricista	500 horas		
3	Asegúrese que los tornillos de los hilos guía tipo rabo de puerco (pigtail) de los “carbones” estén apretados y aislados del resto de la máquina.	Técnico Electricista	500 horas		
4	Asegúrese que los derivadotes o “puentes” (shunts) de escobillas estén fijos a sus estructuras y que no hay conexiones flojas o tornillos prisioneros perdidos.	Técnico Electricista	500 horas		

5	Chequee que los porta-escobillas estén debidamente espaciados (6 milímetros entre porta-escobilla y la superficie del conmutador).	Técnico Electricista	500 horas
6	Comprobar la tensión de los muelles que aprietan las escobillas contra el colector, el cual debe ser de 0,15 a 0,2 Kg por cada cm ² de superficie de escobilla con el colector.	Técnico Electricista	500 horas
7	Limpie con un trapo o sople el sucio en el aislamiento de los tornillos de los porta-escobillas.	Técnico Electricista	500 horas
8	Chequear que todas las superficies de las escobillas que están en contacto con el colector estén bien pulidas.	Técnico Electricista	500 horas
9	Comprobar la posición de las escobillas.	Técnico Electricista	500 horas

4.6.2. Mejoras a las actividades de mantenimiento preventivo del freno del motor de excavación, eje de mando de los brazos del balde y conjunto de abrir la puerta del balde

Durante el periodo de revisión Agosto- Septiembre de 2.008 del formato FERRO-4407 03/98, referido a la inspección parte alta en el mantenimiento preventivo a frecuencias de 250, 500, 750 y 1000 horas de la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL (ver apéndice C, figuras C.1 y C.6), se encontró que el mismo no hace referencia a la inspección de la maquinaria de excavación, por lo que este plan de mantenimiento no especifica ninguna actividad de mantenimiento preventivo a desarrollar por parte de la jefatura de turno de mantenimiento (Taller de Palas y Taladros San Isidro) que garanticen el buen funcionamiento de la misma. Sin embargo, es importante resaltar que el mantenimiento preventivo que se realiza es de reengrase semi-automático de las cremalleras, piñones, bujes y bloques de soporte, sumado a chequeos a través de inspecciones visuales. También debe mencionarse que estas actividades se realizan en base a la experiencia del personal mecánico.

En vista de que la maquinaria de excavación no cuenta con un listado de actividades de mantenimiento preventivo, el ENT decidió proponer actividades de mantenimiento para minimizar la ocurrencia de las fallas y mejorar la disponibilidad del sistema de excavación. Dichas propuestas se desarrollaron en base a las recomendaciones hechas por el fabricante y están adaptadas a cada uno de los componentes sometidos a estudios, los cuales son: freno del motor de excavación, eje de mando de los brazos del balde, brazos del balde y conjunto de abrir la puerta del balde.

A continuación se muestran en las tablas 4.9, 4.10 y 4.11, las actividades propuestas para cada uno de los componentes sometidos a estudio.

Tabla 4.9. Propuestas de mejoras para las actividades de mantenimiento del freno del motor de excavación

		GERENCIA DE MINERIA SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO		MANTENIMIENTO 	
PROPUESTA PARA LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO DEL FRENO DEL MOTOR DE EXCAVACIÓN DE LA PALA ELÉCTRICA P&H MODELO 2100 BL					
Revisado: Ing. Jesús Suárez		Realizado: Br. Yojan Blanco		FECHA: Julio de 2.008	
FRENO DEL MOTOR DE EXCAVACIÓN					
ITEM	ACTIVIDAD PROPUESTA	RESPONSABLE	FRECUENCIA		
1	Inspeccionar visualmente la contaminación con aceite, grasa, polvo y material de desgaste dentro del freno.	Técnico mecánico	250 horas de operación		
2	Con el freno suelto, usar aire comprimido para expulsar las partículas de desgastes.	Técnico mecánico	250 horas de operación		
3	Chequear el apriete e integridad de fijaciones y componentes del freno.	Técnico mecánico	250 horas de operación		
4	Inspeccionar el estado de la caja del freno y el color de su superficie.	Técnico mecánico	250 horas de operación		
5	Verificar los ajustes de presión neumática del regulador de aire de	Técnico mecánico	250 horas de operación		

	frenos (presión neumática máxima recomendada 100 PSI) y el regulador de aire piloto externo (presión recomendada 70 PSI).		
6	Chequear fugas de aire con el freno aplicado y con el freno suelto.	Técnico mecánico	250 horas de operación
7	Comprobar el libre movimiento del embolo del freno dentro de su cilindro.	Técnico mecánico	500 horas de operación
8	Comprobar el libre movimiento de los rotores de frenos.	Técnico mecánico	500 horas de operación
9	Medir y anotar la distancia de carrera del embolo.	Técnico mecánico	500 horas de operación
10	Comprobar el desgaste de las pastillas de fricción y reemplazar el conjunto del disco cuando las pastillas estén desgastadas entre 0,51 - 0,64 mm sobre las cabezas de los remaches.	Técnico mecánico	500 horas de operación

Tabla 4.10. Propuestas de mejoras para las actividades de mantenimiento del eje de mando de los brazos del balde.

	GERENCIA DE MINERIA SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO		
PROPUESTA PARA LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO DEL EJE DE MANDO DE LOS BRAZOS DEL BALDE Y BRAZOS DEL BALDE DE LA PALA ELÉCTRICA P&H MODELO 2100 BL			
Revisado: Ing. Jesús Suárez	Realizado: Br. Yojan Blanco	FECHA: Julio de 2.008	
EJE DE MANDO DE LOS BRAZOS DEL BALDE Y BRAZOS DEL BALDE			
ITEM	ACTIVIDAD PROPUESTA	RESPONSABLE	FRECUENCIA
1	Inspeccionar visualmente los piñones del eje de mando en busca de deformación de los dientes. Se recomienda cambiar estos piñones cada 10.000 horas de operación.	Técnico mecánico	1.000 horas
2	Inspeccionar visualmente los bujes de la pluma en busca de cualquier desgaste anormal. Se recomienda cambiar los bujes a las 10.000 horas de operación.	Técnico mecánico	1.000 horas
3	Inspeccionar los dientes del engranaje y piñón del eje de entrada e intermediario en busca de fracturas. Usar ventana de inspección.	Técnico mecánico	1.000 horas

4	Chequear el ajuste del marco separador de los bloques de soporte. Añadir o eliminar láminas de ajuste entre la tapa del extremo y los retenedores para obtener la máxima tolerancia permitida el cual corresponde a 1/8 de pulgada, entre los brazos del balde y las planchas deslizantes de los bloques de soporte. Se recomienda cambiar las planchas deslizantes cada 5.000 horas de trabajo.	Técnico mecánico	1.000 horas
5	Inspeccionar los bujes de los bloques de soporte en busca de holguras excesivas. Se recomienda remplazar los bujes cuando la holgura entre el eje se acerque a 1/8 de pulgada.	Técnico mecánico	1.000 horas
6	Inspeccionar visualmente las cremalleras de los brazos del balde en busca de desgaste anormal y cuarteduras.	Técnico mecánico	1.000 horas

Tabla 4.11. Propuestas de mejoras para las actividades de mantenimiento del conjunto de abrir la puerta del balde

	GERENCIA DE MINERIA SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO	MANTENIMIENTO  P & T	
PROPUESTA PARA LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO DEL CONJUNTO DE ABRIR LA PUERTA DEL BALDE DE LA PALA ELÉCTRICA P&H MODELO 2100 BL			
Revisado: Ing. Jesús Suárez	Realizado: Br. Yojan Blanco	FECHA: Julio de 2.008	
GUAYA ACCIONADORA DE LA PALANCA DE DESENGANCHE DEL BALDE			
ITEM	ACTIVIDAD PROPUESTA	RESPONSABLE	FRECUENCIA
1	Inspeccionar el buen enrollamiento del cable en el tambor.	Técnico Electricista	500 horas
2	Inspeccionar la lubricación del cable.	Técnico Electricista	500 horas
3	Inspeccionar el cable en busca de estiramientos, aplastamientos, corrosión, torceduras, deformación en forma de jaula, condiciones localizadas y alambres rotos. Remplazar de	Técnico Electricista	500 horas

	acuerdo a estos criterios.		
4	Revisar las ranuras de las poleas en busca de desgastes.	Técnico Electricista	500 horas
5	Revisar las ranuras de las poleas en busca de impresión del cable.	Técnico Electricista	500 horas

4.6.3 Propuesta de un procedimiento para la activación del controlador lógico programable (PLC)

Como se pudo observar a lo largo del desarrollo del trabajo de investigación, y de acuerdo a los resultados arrojados por ACR, la inoperatividad del controlador lógico programable (PLC) representa la causa principal de las fallas ocurridas en los frenos, cremalleras y eje de mando principal del sistema de excavación, por lo que las actividades de prevención de falla aplicadas por la empresa no eliminan de raíz el problema. Esto refiere al hecho, de que cada equipo está diseñado para cumplir una función específica dentro de un sistema, alterar las condiciones de diseño, sin antes hacer una evaluación de la causa-efecto que podría generar esta condición; es un factor que genera riesgos operacionales que a su vez pueden implicar costos elevados en las reparaciones.

El ENT en busca de dar una respuesta acertada, en cuanto a las razones del porque el PLC se encuentra inoperante, decidió realizar entrevistas informales al personal eléctrico. Encontrándose entonces, que el personal carecía de conocimientos y entendimiento de la ejecución correcta de los procedimientos para reestablecer el programa, los tiempos de los ciclos de lubricación y drenaje, por lo que decidieron desactivarlo.

Con el fin de dar una propuesta que mejorara el desempeño del personal, se revisaron los procedimientos de la empresa, encontrándose que no existía ningún procedimiento establecido que facilitara la programación del PLC. Se procedió de ésta manera a la creación de un procedimiento basado en las recomendaciones del fabricante. (Ver tabla 4.12)

Tabla 4.12. Propuesta de un procedimiento para el restablecimiento del programa del PLC de la pala eléctrica P&H modelo 2100 BL.

		GERENCIA DE MINERIA SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO	MANTENIMIENTO  P&T	
Formato de restablecimiento del programa del PLC de la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL				
Fecha de inicio del trabajo _____		Fecha de termino del trabajo _____		
Responsable del trabajo _____		Ficha _____		
Supervisor de Turno _____		Ficha _____		
Item	Descripción de la Actividad	Ejecutada		
		Si	No	
1	Apagar el procesador (siempre) antes de insertar o remover el modulo de memoria EEPROM.			
2	Alinear la conexión del modulo de memoria con el receptáculo dentro del procesador. Presione con cuidado hasta que los contactos estén bien ajustados.			
3	Restaurar la corriente al procesador. Con el modulo de memoria enclavado en el procesador se puede verificar que el programa ha sido cargado, verificando los tiempos de los ciclos de lubricación.			
4	Verifique que la llave este en la posición de MONITOR.			
5	Presione la tecla ADDRESS una sola vez.			
6	Introduzca los dos últimos dígitos de la dirección que desee verificar. DIRECCION UPPER LUBE 910 DIRECCION LOWER LUBE 911 DIRECCION DRENAJE COMPRESOR DE AIRE 926 DIRECCION PROPEL LUBE 912 DIRECCION OPEN GEAR 913			
7	Presione la tecla ENTER una sola vez.			
8	Presione la tecla PRESET una sola vez, el tiempo será desplegado en segundos, el programa original tiene los tiempos prefijados en 900 seg (15 minutos).			
9	Una vez que se halla verificado que el programa ha sido cargado satisfactoriamente, se apaga el PLC y se remueve el modulo de memoria EEPROM. El programa quedara cargado en la memoria RAM del PLC siempre y cuando la batería o el capacitor estén funcionando (uno o ambos).			
10	Una vez que estemos seguros que el PLC este funcionando al 100%, procedemos a verificar que no tengamos fugas en las líneas, que todas las conexiones estén bien ajustadas para luego proceder a ajustar los tiempos de los ciclos de lubricación. Cada mina tiene condiciones especificas de clima, tipo de mineral, marca de lubricante, etc. Por lo tanto los tiempos de lubricación son distintos en todas partes.			
Observaciones u/o Comentarios: _____				

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. Por medio del diagnóstico de la situación actual de los componentes de la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL, fue posible conocer como se encuentra estructurada la misma en cuanto a los sistemas que la componen, así como también las variables de operación y diseño, que dieron cuenta de apreciables desviaciones en diferentes componentes de la Pala.
2. La aplicación de la matriz IMPACTO-ESFUERZO, permitió jerarquizar los sistemas que conforman la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL, identificando así el sistema de excavación, como el más críticos y susceptibles a falla acorde con el contexto operacional actual de los componentes que lo conforman, creando una estructura que facilitó la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando los esfuerzos y los recursos hacia las mejoras en las actividades de mantenimiento preventivo para dicho sistema.
3. La elaboración del programa de Registro de Falla conjuntamente con la aplicación de la técnica del diagrama de Pareto, permitieron definir las fallas críticas que afectan la disponibilidad del sistema de excavación. Las cuales a su

vez representaron los modos de falla que se consideraron para la elaboración de los Análisis Causa Raíz.

4. La aplicación del Análisis Causa Raíz, permitió analizar las distintas raíces físicas, humanas y latentes, es decir se investigó sobre los distintos factores que ocasionaron la parada del sistema de excavación, por lo tanto al implementar las diferentes acciones preventivas, se estará eliminando el riesgo de las fallas recurrentes y a su vez mejorando la confiabilidad operacional de la Pala P&H modelo 2100 BL.
5. Las fallas en el freno del motor de excavación, cremalleras y eje de mando principal de los brazos del balde, implicaron problemas directos con la inoperatividad del Controlador Lógico Programable de lubricación automática (PLC), el cual se consideró como el causal de falla que afectó directamente la confiabilidad inherente del sistema de excavación, mientras que las fallas en motor de excavación y en el conjunto de abrir la puerta del balde estuvieron relacionadas a la aplicación de procedimientos inadecuados es decir, con la confiabilidad del proceso, debido a la falta de información del fabricante sobre especificaciones de desgastes y ajustes de los componentes.
6. La propuesta realizada del procedimiento de activación del programa del Controlador Lógico Programable (PLC), sólo persigue restablecer las condiciones de diseño de la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL, garantizando los niveles de confiabilidad de todos los sistemas que la componen.
7. Las acciones propuestas van dirigidas a la aplicación de mantenimiento preventivo de tipo condicional, en los diferentes componentes del sistema de excavación, y tienen como fin complementar el plan de mantenimiento aplicado a la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL.

5.2. Recomendaciones

- 1.** Se recomienda utilizar la metodología de Análisis Causa Raíz para la identificación de las causas que originan las fallas críticas que afectan la confiabilidad operacional de los otros sistemas que conforman la Pala, para de esta manera poder realizar las acciones correctivas que permitan alcanzar las mejoras continuas del equipo como tal.
- 2.** Se recomienda verificar las frecuencias de las actividades planteadas con métodos estadísticos, con el fin de incluirlas en el plan de mantenimiento para su posterior aplicación.
- 3.** De la misma manera se recomienda establecer indicadores de control de gestión que permitan realizar un seguimiento de los resultados obtenidos.
- 4.** Crear programas de capacitación para los eléctricos, que permitan ampliar sus conocimientos sobre el mantenimiento del PLC.
- 5.** Incentivar al personal involucrado en la gestión de mantenimiento a cumplir con las actividades planificadas para mejorar el desempeño y eficiencia de la pala, esto permitirá mayor involucramiento del trabajador y evitara las causas de fallas adjudicadas a factores o errores humanos.

BIBLIOGRAFÍA

1. García, C y Gonzáles, A. “Optimización del mantenimiento industrial centrado en confiabilidad”. México (2003).
2. Vegas R. “Estudio de las fallas recurrentes en equipos de superficie del sistema de bombeo mecánico mediante balancín perteneciente a la unidad de explotación de yacimiento liviano. Distrito San Tome”, Tesis de grado, Departamento de Mecánica, UDO, Anzoátegui (2002).
3. Calado J y Restito J. “Análisis de fallas mecánicas y posibles soluciones a las fallas mas criticas en las líneas de estañado electrolítico en una planta de laminación de acero” Tesis de grado, Departamento de Mecánica, UDO, Anzoátegui (1995).
4. Salih O. Duffuaa & John Campbell, “Sistemas de mantenimiento planeación y control”. Editorial Limusa, S.A de C.V. México, (1995).
5. Suárez, D “Guía Teórico – Practica y Análisis Estadístico de Falla”, Puerto La Cruz, Venezuela (1999).
6. Universidad de Salamanca. “Enciclopedias Visor”. Plaza & Janes Editores, España, (1999).
7. ANIORTE N. “Análisis Epistemológico”, (2008). Disponible en: http://perso.wanadoo.es/aniorte_nic/apunt_diagn_enfermer_1.htm.

8. SUÁREZ, D. “Mantenimiento Mecánico”, Manual Teórico-Práctico de la Universidad de Oriente, Anzoátegui (2001).
9. Zambrano S, Leal S “Fundamentos básicos de mantenimiento”. Feunet. San Cristóbal. Táchira. Venezuela, (2005).
10. Harnischfeger Corporation “Manual del taller modelo 2100 BL 1 SM (SP)”. Milwaukee, Wisconsin. EE.UU, (1994).
11. Suárez, D “Herramientas Técnicas para Mejorar la Confiabilidad”. Confima & Consultores C.A. I edición (2007).
12. Laverde, H “Vision estrategica del mantenimiento en una organización industrial”. España. Agosto (2001). Disponible en www.ceroaverias.com.
13. Zambrano, Sony. Norma COVENIN 3089-93. Manual para la evaluación de sistemas en la industria. (1993).
14. Trujillo, Gerardo “Fundamentos de Lubricación Nivel 1” Copyright Noria Corp. (2007) disponible en www.noria.com/sp

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO**

TÍTULO	“MEJORAS EN LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LAS PALAS P&H UBICADAS EN EL CUADRILÁTERO FERRÍFERO SAN ISIDRO DE C.V.G. FERROMINERA ORINOCO, C.A., CIUDAD PIAR”
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CVLAC / E MAIL
Blanco G., Yojan A.	CVLAC: 15.637.233 E-MAIL: yojanandres@hotmail.com

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Mantenimiento Preventivo

Análisis de Causa Raíz

Análisis de Criticidad.

Diagrama de Pareto.

Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL.

Diagnóstico Operacional.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUB ÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Mecánica

RESUMEN (ABSTRACT):

El presente trabajo de grado consistió en proponer mejoras en las actividades de mantenimiento preventivo en base al Análisis de Causa Raíz, de la Pala Eléctrica P&H modelo 2100 BL, ubicada en el Cuadrilátero Ferrífero San Isidro de C.V.G Ferrominera Orinoco C.A., con el fin de aumentar la disponibilidad del equipo y darle mayor rendimiento, cumpliendo de esta manera los niveles de calidad y de seguridad requeridos por la empresa. Para lograr dichas mejoras, la investigación fue dividida en cuatro (4) partes principales, las cuales fueron: diagnóstico a los componentes de cada uno de los sistemas que conforman la Pala en su contexto operacional, posteriormente se hizo un análisis de criticidad para jerarquizar a los sistemas de acuerdo a su impacto en la producción, seguridad y medio ambiente, luego se determinaron las fallas críticas, una vez conocidas las fallas y el sistema crítico, se evaluaron las posibles causas de éstas utilizando el análisis de causa raíz, a partir del cual se formularon las acciones de mantenimiento. Los resultados reflejaron que a pesar de que la pala cuenta con un plan de mantenimiento, las condiciones de operación de los sistema de excavación y de giro son críticas, además de que los niveles de limpieza de los equipos son muy bajos; asimismo se obtuvo que el sistema crítico resultó ser el de excavación, mientras que el diagrama de Pareto determino que las fallas críticas que se presentan en el sistema de excavación son las fallas en el motor, freno, cremallera, eje y rotura de la guaya, así mismo se determinó que tanto las fallas en el freno, cremallera y eje son debidas a la falta de lubricación y ajuste de los componentes mecánicos producto de la inoperatividad del Controlador Lógico Programable PLC, mientras que las otras son debidas a un incumplimiento de las actividades de mantenimiento preventivo.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E-MAIL				
Delia Villarroel	ROL	CA X	AS	TU	JU
	CVLAC:	5.189.938			
	e-mail:	deliavs@cantv.net			
Jesús Suárez	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:	10.204.604			
	e-mail:	jesusjs@ferrominera.com			
Luis Griffith	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	5.194.070			
	e-mail:	luisgriffith21@hotmail.com			
Darwin Bravo	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	e-mail:				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2009	06	19
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis.Mantenimiento_Preventivo_Pala P&H.doc.	Aplicación/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L M N O P Q
R S T U V W X Y Z . a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z . 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 .

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Mecánico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Mecánica

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**DERECHOS**

De acuerdo al artículo 44 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

Yojan A. Blanco G.

AUTOR

TUTOR

Delia Villarroel

JURADO

Darwin Bravo

JURADO

Luis Griffith

POR LA SUBCOMISION DE TESIS

Delia Villarroel