

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE



**“MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO DE EQUIPO
MINERO MEDIANTE ESTRATEGIAS DE
MANTENIMIENTO Y REINGENIERIA DE
COMPONENTES DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN
Y RODADO”**

FRANCISCO JAVIER GARCÍA ORTIZ

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

PROFESOR GUÍA: DR. ING. JAIME NÚÑEZ SEGOVIA
PROFESOR CORREFERENTE: ING. RAFAEL MENA YANSSEN

ENERO – 2017

AGRADECIMIENTOS

Extiendo mi sincera gratitud a mi familia por su apoyo incondicional y especialmente a Manuel García Q.E.P.D. Agradezco a mi tutor Enrique Caneo y a los integrantes de la Superintendencia de Planificación de Mantenimiento de La Cía. Minera Doña Inés de Collahuasi. Finalmente, doy las gracias al cuerpo docente del Departamento de Ingeniería Mecánica, en especial al Dr. Ing. Jaime Nuñez y al Profesor Ing. Rafael Mena por su contribución en el presente Trabajo de Título.

RESUMEN

El presente Trabajo de Título consiste en mejorar el desempeño de confiabilidad del Sistema de Propulsión y Rodado (P&R) de la perforadora Atlas Copco, modelo PitViper 351, mediante estrategias de mantenimiento y reingeniería de componentes que permitan aumentar la confiabilidad intrínseca del sistema y su conservación en el tiempo. Se ha elegido el Sistema P&R debido a su comportamiento crónico y agudo (según la evaluación de criticidad establecido por el diagrama Jack Knife utilizado con un 38% del tiempo total de detenciones por falla) y baja confiabilidad del tren de oruga. Adicionalmente, este sistema presenta un alto impacto económico y la mecánica simple lo conforma permite minimizar los esfuerzos con un resultado de alto impacto en la confiabilidad global.

Para lograr el mejoramiento del desempeño del equipo, el trabajo se ha estructurado en dos secciones. La primera hace relación a la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), en donde se utiliza el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) en conjunto con un Análisis de Árbol de Falla (AAF) para enfocar las estrategias de mantenimiento en las causas raíces de los modos de fallas encontrados. Como resultado del estudio, se ha determinado que los principales hecho que afectan el desempeño del Sistema P&R, son deficiencias asociadas al mantenimiento, operación, un diseño sub-dimensionado de la oruga y el sobre tensado del Tren de Oruga

Se recomienda a la empresa considerar en las pautas de mantenimiento, las estrategias expuestas en la hoja de RCM. Por otro lado, se sugiere evaluar la implementación de la cadena PPR2, con la finalidad de solucionar el problema del mal diseño del Rodado en perforadoras PV351. Adicionalmente se sugiere instalar una válvula reguladora de presión en la línea de alimentación del sistema de tensado automático, para ajustar de forma independiente la presión de tensado de las orugas.

Palabras Claves: AMEF, MCC, Mantenimiento centrado en la confiabilidad, Perforadora PV351, CAT375, PPR2, Jack Knife, Árbol de Falla, Disponibilidad.

ABSTRACT

The current document aims to improve the reliability of the Pit Viper 351 Drill Propel System, through maintenance strategies and redesigning components that increase the intrinsic reliability of the system and its conservation thought the time. The Propel System has been chosen due its chronic and acute behavior, according to the criteria established in Jack Knife Diagram (38% of total downtime), more specific the Tracks (shoes, links and pins) is the subsystem where availability problems arise. Furthermore, this System represent a high economic impac due its cost, and having a simple mechanic, the study result more effective to improve its reliability.

To achieve a global performance improvement, the work has been divided into two sections. The first step is the application of RCM, where the Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) and Fault Tree Analysis(FTA) is used to focus the maintenance strategiesto solve the failure modes root causes. The main root causes affecting the Propel System performance are deficiencies related with maintenance, operation, a sub-dimensioned design of the Undercarriage and tracks overtension.

According to the deficiencies associated with maintenance, this study recommends to consider in the maintenance guidelines, the strategies outlined in the RCM Sheet. Additionally it suggests evaluating the implementation of the PPR2 Tracks, in order to solve the PV351 track design issue and also an additional study about the implementation of a PRV in the feeding line of the automatic tensioning system to regulate independently the tensioning pressure on both tracks.

Keywords : Failure Modes and Effects Analysis, FMEA , RCM, Reliability Centered Maintenance , Drill PV351 , Caterpillar Tracks, PPR2 , Collahuasi , Jack Knife , Fault Tree Analysis , Availability, redesign, Tracks, Undercarriage,

GLOSARIO

AMEF:	:	Análisis de Modos y Efectos de Falla.
AAF:	:	Análisis de Árbol de Falla
ASTM	:	American Society for Testing Material
AFNOR	:	Association française de Normalisation
CMDIC	:	Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi
CAT	:	Caterpillar
FTA	:	<i>Fault Tree Analysis</i>
FOPS	:	<i>Fallen Objects Protection System</i>
GMM	:	Gerencia de Mantenición Mina
GRB	:	Acero Grado B (medio carbono)
HH	:	Horas Hombre
ISO	:	<i>International Organization for Standardization</i>
JK	:	<i>Jack Knife</i>
KPI	:	<i>Key Performance Indicator</i>
MCC	:	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad
MTBF	:	<i>Main Time Between Failure</i>
MTTR	:	<i>Main Time To Repair</i>
MonCon	:	Monitoreo y Condiciones

PV351	:	Pit viper 351
PLC	:	<i>Public Limited Company</i>
PPR2	:	<i>Positive Pin Retention 2</i>
P&R	:	Propulsión y Rodado
OEM	:	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
RCM	:	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
RCS	:	<i>Rig Control System</i>
RPN	:	<i>Risk Priority Number</i>
SIGEMM	:	Sistema Integrado de Gestión de Mantenimiento Mina
SAE	:	Society of Automotive Engineers
TMEF	:	Tiempo Medio Entre Fallas
TMPR	:	Tiempo Medio Para Reparación

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
RESUMEN	ii
ABSTRACT.....	iii
GLOSARIO	iv
INTRODUCCIÓN	xi
OBJETIVOS	xiv
PLAN DE TRABAJO.....	xvi
1. Descripción de la Empresa.....	19
1.1. Antecedentes generales.....	19
1.1.1. Reseña histórica.....	20
1.1.2. Ubicación.	20
1.2. Producción.....	21
2. Descripción de Perforadora Atlas Copco Pv351	23
2.1. Descripción general.	23
2.2. Consideraciones asociadas al funcionamiento general del la Perforadora.	25
2.3. Transporte y remolque.....	25
2.4. Limitaciones de funcionamiento.	26
2.5. Especificaciones Componentes Principales.....	27
2.5.1. Marco principal	29
2.5.2. Sistema de Propulsión y Rodado.....	29
2.5.3. Mástil de perforación.	31
2.5.4. Sistema de alimentación.....	31
2.5.5. Cabezal giratorio.	32

2.5.6.	Sistema de transmisión (Motor).	32
2.5.7.	Compresor de aire.	33
2.5.8.	Sistema hidráulico.	34
2.5.9.	Inyección de agua.	35
2.5.10.	Cabina del operador.	35
3.	Marco teórico.	36
3.1.	Fundamentos del mantenimiento de activos.	36
3.1.1.	Mantenimiento dentro de una empresa de tipo industrial.	37
3.1.2.	Tipos de intervenciones.	37
3.1.3.	Objetivos y estrategias de mantenimiento.	37
3.2.	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC).	40
3.2.1.	Definición y alcance del MCC.	41
3.2.2.	Características del MCC.	41
3.2.3.	Las Normas SAE JA1011 y SAE JA1012.	42
3.2.4.	Los 7 pasos del MCC.	42
3.2.5.	Metodología.	43
3.3.	Herramientas utilizadas en la caracterización del mantenimiento.	44
3.3.1.	Indicadores de desempeño de mantenimiento.	44
3.3.2.	Diagrama de Pareto.	49
3.3.3.	Diagrama Jack Knife.	50
3.4.	Análisis de Modos de Fallas y efectos (AMEF).	54
3.4.1.	Definir las funciones del equipo o sistema.	54
3.4.2.	Definir las fallas funcionales.	55
3.4.3.	Determinación de los Modos de Falla.	55

3.4.4.	Efectos de falla.....	56
3.5.	Consecuencias de la falla.....	57
3.5.1.	Parámetro D (detectabilidad de fallas).....	57
3.5.2.	Parámetro O (ocurrencia de fallas).....	58
3.5.3.	Parámetro S (Severidad de Fallas).....	59
3.5.4.	Determinación del número de prioridad de riesgo (RPN).....	61
3.6.	Árbol de Falla (AAF).....	62
3.6.1.	Definición.....	62
3.6.2.	Simbología.....	63
3.6.3.	Fundamentos sobre la construcción de un Árbol de Falla.....	65
3.6.4.	Reglas básicas de construcción de un árbol de falla.....	67
3.6.5.	Ventajas de utilizar y combinar el AAF con AMEF.....	68
3.7.	Gestión de fallas.....	68
3.7.1.	Tareas proactivas.....	69
3.7.2.	Acciones “A falta de”.....	70
4.	Caracterización general de desempeño del Sistema de Propulsión y Rodado en Perforadora PV351.....	74
4.1.	Índices e indicadores de desempeño de perforadora 18.....	74
4.1.1.	Índices de fallas en los sistemas del equipo.....	75
4.1.2.	Indicadores de la gestión del mantenimiento del equipo.....	78
4.1.3.	Disponibilidad.....	79
4.2.	Diagnóstico y tipo de criticidad en el Sistema de Propulsión y Rodado.....	82
4.3.	Análisis Funcional del Sistema de Propulsión y Rodado.....	84
4.3.1.	Contexto Operacional actual del Sistema de P&R.....	84

4.3.2. Funciones.	85
5. Aplicación de metodología MCC al Sistema de Rodado y Propulsión de perforadora PV351.	87
5.1. Análisis del Modo y Efecto de Falla (AMEF).....	89
5.1.1. Definición de funciones del Sistema.	89
5.1.2. Determinar fallas funcionales.....	89
5.1.3. Identificar Modos de Fallas.....	91
5.1.4. Efectos de los Modos de Fallas (4to paso MCC – JA1011).....	93
5.1.5. Síntesis del Análisis de Modos y Efectos de Falla.....	95
5.2. Consecuencia de los Modos de Fallas.	95
5.3. Análisis de árbol de falla asociado a Modos de Falla en Subsistema crónico y agudo.	96
5.4. Determinación de estrategias de Mantenimiento derivadas de la Metodología de MCC.	99
6. Evaluación del Rediseño del Tren de Oruga.....	103
6.1. Componentes del la oruga CAT 375.	105
6.2. Levantamiento de componentes dañados.	106
6.3. Análisis Comparativo de Sistemas de P&R en Máquinas	108
6.3.1. Excavadora Hidráulica CAT 375.	109
6.3.2. Pala Electrica P&H 4100 XPC.....	111
6.3.3. Tanque de guerra Leopard II.....	113
6.3.4. Análisis comparativo de los tres sistemas de rodado estudiados.	115
6.4. Alternativas de mejoras en tren de oruga para Sistema de Rodado PV351 disponibles por proveedores OEM.	116

6.4.1. Cadena Sellada y Lubricada CAT con pasadores de retención positiva PPR2 y una garra.....	117
6.4.2. Omega Undercarriage (Proveedor L&H Industrial).....	120
6.5. Recomendación sobre el Rediseño del Tren de Oruga.....	123
7. Modificación en la configuración hidraulica del Sistema de Tensado	124
7.1. Funcionamiento del Sistema de Tensado Automático.	124
7.2. Antecedentes de la Falla.....	126
7.3. Propuesta de mejoramiento del Sistema de Tensado de la Cadena.....	127
CONCLUSIONES	129
BIBLIOGRAFÍA	131
ANEXOS	135
Anexo 1: Hoja AMEF.....	1
Anexo 2: Hoja de índice de Riesgo RPN.....	8
Anexo 3: Hoja MCC	17
Anexo 4: Base de Datos Perforadora 18 SIGEMM (simplificada).....	32
Anexo 5: Tarifas de componentes principales 2013	40
Anexo 6: Árbol de falla, ramificado en fallas críticas	42
Anexo 7: Resultados globales y Metas de la compañía.....	45
Anexo 8: Hitos del Proceso de Regularización de la Operación	47
Anexo 9: Histograma del Tiempo entre Falla y Estadísticos Relevantes	51
Anexo 10: Análisis Funcional de Sistema de rodado y Propulsión.....	52
Anexo 11: Árbol de decisión del MCC.....	53

INTRODUCCIÓN

La industria minera actual requiere niveles elevados de productividad para satisfacer sus metas económicas. Una condición necesaria para lograr mayor productividad es que los equipos se mantengan la mayor cantidad de tiempo disponibles para su uso, lo que se transforma en uno de los principales objetivos de la gestión de activos. A fin de lograr una disponibilidad acorde con las expectativas de las compañías, se crean estrategias y planes de mantenimiento para las condiciones específicas de operación de cada equipo.

Durante el periodo entre el 2012 y 2013, la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (CMDIC) atravesó una profunda crisis, en la cual no se cumplieron las metas de producción comprometidas. Uno de los motivos de esta situación fue, en efecto, las bajas disponibilidades de los equipos de carguío y perforación y por lo tanto, CMDIC ha definido un proceso de regularización, donde se han establecido hitos relevantes a los cuales se les debe otorgar la prioridad en su ejecución. Uno de estos hitos es la recuperación de la flota de perforadoras, que tiene como objetivo mejorar las disponibilidades de los equipos. Según se observa en la Figura 1, durante el año 2012 la flota de perforadoras Atlas Copco no ha cumplido la disponibilidad programada en ocho de los doce meses.

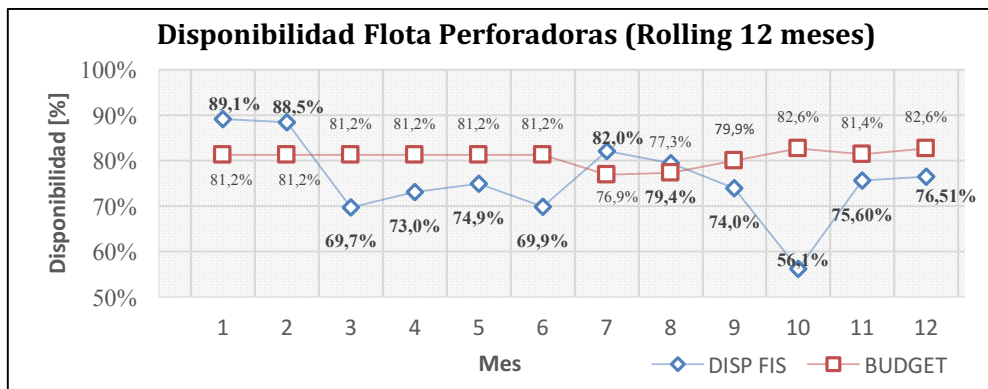


Figura 1. Disponibilidad Flota Atlas Copco [Fuente: Reporte anual Ingeniería Confiabilidad, CMDIC]

Durante los párrafos anteriores se introduce el contexto que rodea la problemática, en estudios previos la Superintendencia de Planificación de la Gerencia de Mantenimiento Mina (GMM), ha detectado que la perforadora Atlas Copco número 18, modelo PV351, ha estado muy por debajo del *Budget* de disponibilidad durante el año fiscal 13 (Junio 2012 a Julio 2013) como se observa en la Figura 2.

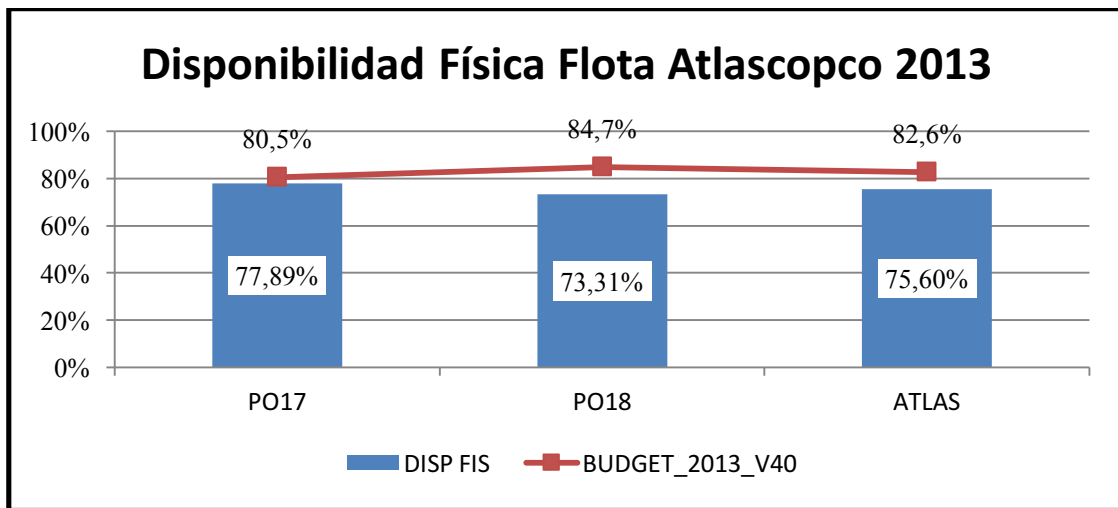


Figura 2. Disponibilidad física Flota Atlas Copco 2013 [Fuente: Reporte anual Ingeniería Confiabilidad, CMDIC]

Por otro lado, la Figura I-3 permite visualizar la existencia de un gran porcentaje de eventos imprevistos. Como consecuencia del corte de cadena que sufrió la perforadora 18, en abril del 2013 se produjo un *peak* del porcentaje de tiempo fuera de servicio. La intervención para reparar una falla imprevista es más costosa que intervenir el equipo de forma programada, debido a que los recursos no se han destinado previamente para dicho evento, provocando retrasos en obtención de repuestos y utilización de recursos extras, como asesoría y HH no consideradas en la planificación del mantenimiento del equipo. Esta situación explica por qué las perforadoras de la Flota Atlas Copco no están cumpliendo con las metas de disponibilidad, ya que hay un gran porcentaje del tiempo detenido por causas no

previstas. Es importante detectar cuáles son las causas de estas detenciones imprevistas, y poder establecer estrategias de mantenimiento para prevenir o controlar dichas fallas.

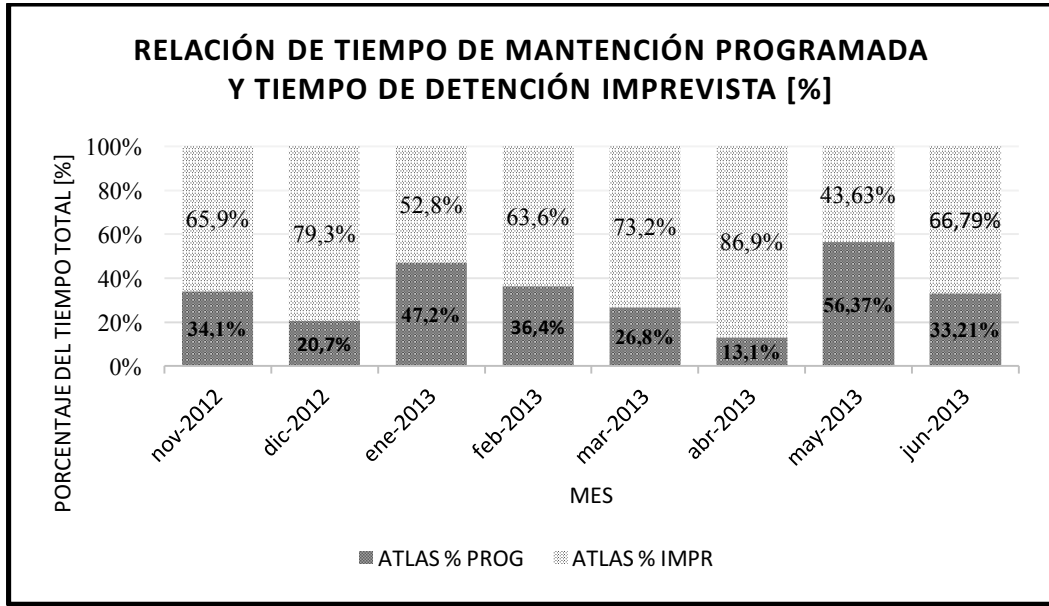


Figura 3. Relación de actividades programadas versus imprevistas [Fuente: Reporte anual Ingeniería, CMDIC]

En base a los problemas de disponibilidad presentados previamente, se solicita la realización de un estudio analítico que permita identificar las causas de la gran cantidad de detenciones imprevistas del equipo y señalar acciones que logren mejorar el bajo tiempo disponible que tiene el equipo con respecto a lo esperado. La intervención de los accionistas en la compañía respecto a los malos resultados obtenidos durante el 2012 (ver Anexo 10-8), obligan al área de Mantenimiento de Equipos Mina a tomar ciertas medidas. La solución planteada para mejorar el desempeño del equipo, es realizar un estudio analítico al sistema crítico de la perforadora, el cual corresponde al Sistema de Propulsión y Rodado, con la finalidad de establecer estrategias de mantenimiento y proponer alternativas de diseño a los subsistemas que representan menor confiabilidad, sabiendo de antemano que el tren de oruga se encuentra subdimensionado con respecto al peso total del equipo.

OBJETIVOS

A continuación se presenta el objetivo general y los objetivos específicos que deben ser satisfactoriamente alcanzados durante el desarrollo de este trabajo.

El Trabajo de Titulación tiene como objetivo general mejorar el desempeño de confiabilidad del Sistema de Propulsión y Rodado de perforadora Atlas Copco PV351, con Oruga CAT 375, mediante estrategias de mantenimiento y rediseño de componentes que permitan aumentar la confiabilidad intrínseca del sistema y su conservación en el tiempo.

Para cumplir con el propósito primario se consideran los siguientes objetivos específicos:

- Realizar un diagnóstico del desempeño del equipo, considerando aspectos de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad.
- Determinar la criticidad y desempeño del Sistema de Propulsión y Rodado y subsistemas asociados, mediante análisis Jack Knife.
- Realizar el análisis de los Modos de Fallas y las causas raíces del sistema y sus componentes, mediante métodos AMEF y Análisis de Árbol de Falla.
- Establecer estrategias de mantenimiento derivada de la metodología mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).
- Proponer las alternativas de rediseño de componentes con características de fallas crónicas y agudas del sistema.
- Recomendar la solución de rediseño de componente, según su factibilidad técnica y económica.

La Memoria de Título tiene como alcance el estudio con las condiciones específicas de la perforadora modelo Atlas Copco Pit Viper 351, que actualmente opera en faena cordillera CMDIC.

Se toma como base de datos el registro de fallas entregado por el sistema de gestión SIGEMM, el cual, por condiciones de implementación, abarca desde el 1 de septiembre del 2012 hasta el 30 de Junio del 2013.

La documentación y metodologías aplicadas por personal del Área de Confiabilidad, sirven de guía para este estudio y para recopilar las plantillas de Modos de Falla, ponderaciones y base de la hoja MCC, de esta manera el Trabajo presenta una real utilidad para la compañía, porque posee un lenguaje y conceptos ya conocidos.

Con el fin de conseguir información se acude a los sistemas de gestión de fallas de la compañía, además de los comentarios y sugerencias de las personas involucradas en los procesos de mantenimiento e ingeniería.

PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo, está enfocado en el cumplimiento de los objetivos planteados anteriormente para dar una secuencia lógica y coherente al trabajo que se presenta. Este plan se muestra en la Figura 4.

En cuanto a la estructura del desarrollo de la Memoria de título, está compuesto por siete capítulos, los cuales abordan los objetivos de la manera indicada en la Figura 4. Se comienza con dos capítulos que engloban el contexto operacional de la compañía y del equipo en el Capítulo 1 y 2 respectivamente.

Los conceptos teóricos usados para desarrollo del AMEF, MCC y FTA estan contenidos en el Capítulo 3, el cual sigue la estructura de la Figura 5. En el Capítulo 4 y 5 se presenta el desarrollo asociado al establecimiento de las estrategias de mantenimiento y posteriormente en el Capítulo 6 y 7 se encuentran las recomendaciones de rediseño de componentes afectados.

Una vez desarrollados los Capítulos del cuerpo medular de la Memoria de Título, se establecen las conclusiones como resultado del estudio realizado, con el cual se dan por alcanzado los objetivos establecidos y se entregan las recomendaciones para que la compañía aplique en sus procesos de mantenimiento.

Toda la información adicional, tales como bases de datos, tablas de mayor tamaño están contenidas para ser consultadas en los anexos del trabajo.

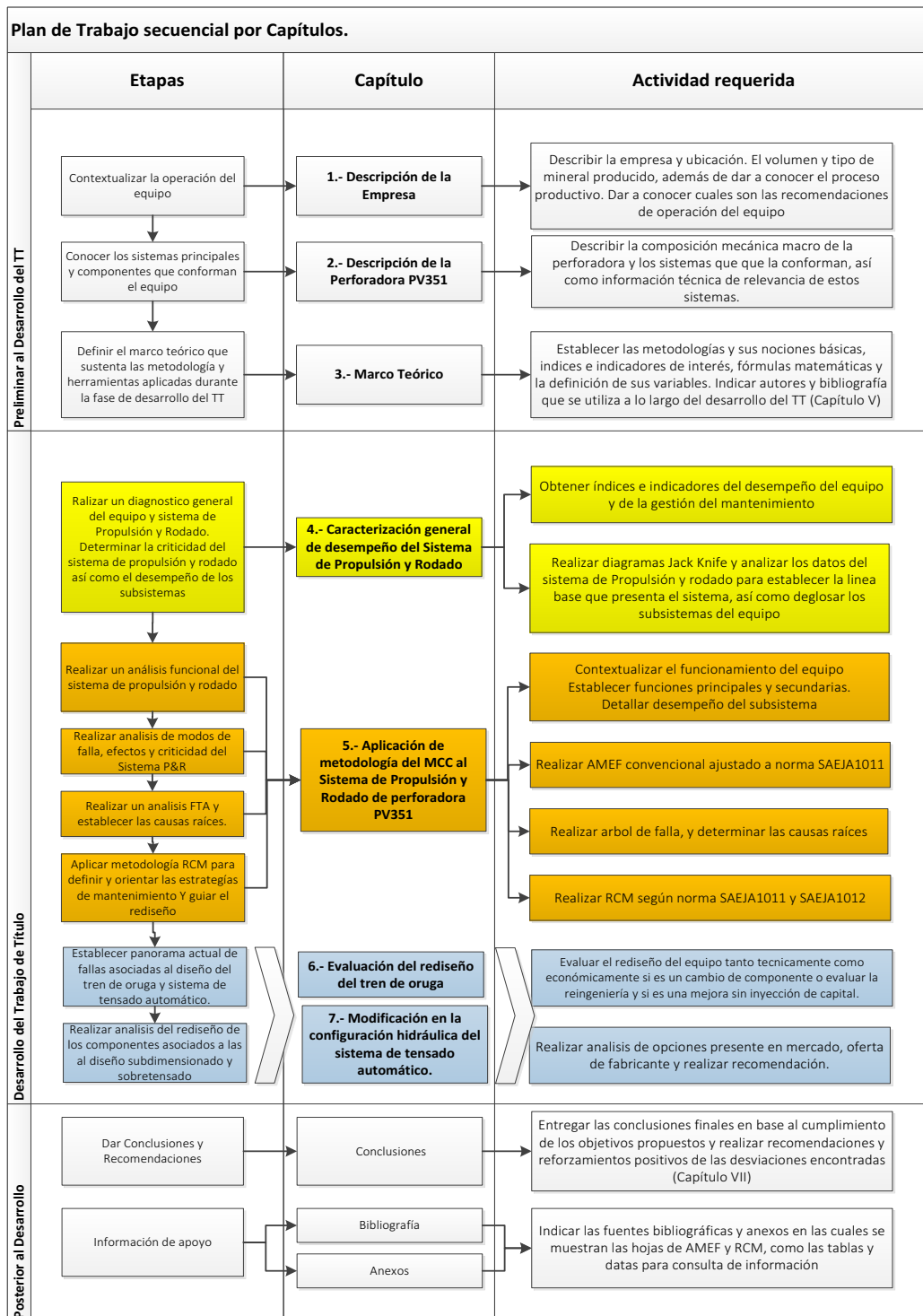


Figura 4. Estrategia del trabajo de Título enfocada al cumplimiento de objetivos

[Fuente: Elaboración propia]

En el esquema guía para la elaboración del Marco Teórico mostrado en la Figura 5, se comienza dando una introducción al concepto que gobierna la gestión de activos y como funciona dentro de una empresa. El segundo paso será describir la metodología del MCC, la cual será aplicada al Sistema de Propulsión y Rodado. Para conocer el comportamiento de criticidad del Sistema se utilizan algunas herramientas que permiten identificar analítica y metodológicamente dichas características.

Finalmente, se estudian dos metodologías de análisis enlazadas al MCC, que corresponden al AMEF y el AAF, que resultan ser las piezas claves en la determinación de los Modos de Fallas y las causas raíces del sistema crítico, que permitirán dirigir las estrategias de mantenimiento para mejorar la disponibilidad del sistema crítico y las propuestas de reingeniería

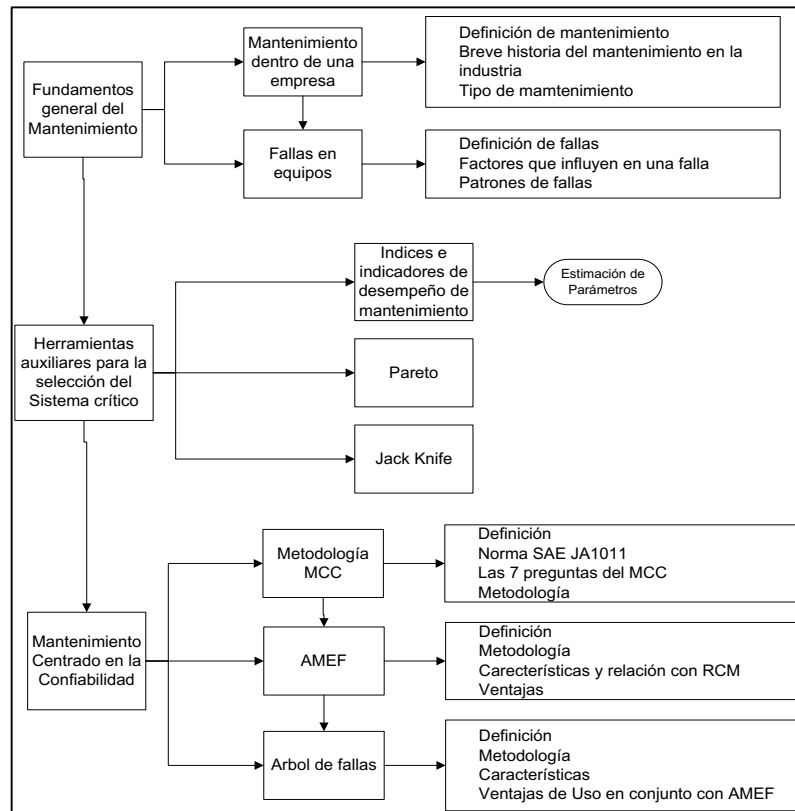


Figura 5. Estructura de elaboración Marco Teórico [Fuente: Elaboración Propia]

1. Descripción de la Empresa

En este capítulo se dan a conocer datos generales, historia y referencias que muestran un panorama general del entorno institucional que rodea al estudio del equipo, así como las condiciones de producción y ubicación en las cuales operan las perforadoras Atlas Copco, con el fin de contextualizar el ambiente productivo de la flota en la cual se centra este Trabajo de Título.

1.1. Antecedentes generales.

La Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, es una compañía que pertenece a la gran minería del cobre, ubicada en la zona altiplánica de la Región de Tarapacá en el norte de Chile. La mina es operada por la empresa de riesgo compartido o *joint venture* Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM, Anglo American plc. y Glencore son los accionistas principales, cada una con un 44% de la propiedad. El 12% restante pertenece a Japan Collahuasi Resources B.V.

Esta operación posee tres yacimientos de pórfido cuprífero: Ujina, Rosario y Huintinquipa (de este último ya no se extrae mineral), ubicados entre los 4.000 a 4.600 metros de altura sobre el nivel del mar, los cuales en estos momentos le otorga una vida útil de más de 50 años. Collahuasi explota y procesa mineral de sulfuro y de óxido de cobre para producir concentrados y cátodos de cobre.

La infraestructura de la compañía actualmente está compuesta por las minas a cielo abierto Ujina y Rosario, dos complejos habitacionales, una concentradora, una planta de extracción por solventes y electro-depositación y un mineroducto de 200 km de extensión para el transporte del concentrado desde la mina al puerto de Punta Patache, 60 km al sur de Iquique.

Collahuasi, posee una de las mayores reservas de cobre del mundo, con un recurso mineral total de 7600 millones de toneladas, una ley promedio de cobre de 0,8%, y una ley de corte de cobre de 0,3%. [2]

1.1.1. Reseña histórica.

Collahuasi remonta sus inicios comerciales a 1880 con la explotación de los sistemas de vetas de cobre-plata de alta ley, operaciones extendidas hasta 1930 debido a la crisis mundial, retomando actividades en 1978, año en el cual se identificaron los componentes claves del yacimiento Rosario.

Posteriormente, en 1991, una combinación de estudios basados en imágenes satelitales, terrestres y actividades de perforación de sondajes dio como resultado el descubrimiento del yacimiento Ujina. Los estudios de factibilidad y de impacto ambiental del Proyecto Collahuasi fueron aprobados en 1995. A fines de 1996, habiéndose suscrito los acuerdos relativos al financiamiento y comercialización, se dio inicio a la etapa de desarrollo y construcción.

La Compañía inauguró su operación comercial el 7 de abril de 1999 y desde entonces se propuso desarrollar su actividad en base a políticas y prácticas que contribuyan al bienestar de la sociedad, su economía y medio ambiente, tomando en cuenta las necesidades de los grupos de interés con los cuales se vincula. [2]

1.1.2. Ubicación.

La Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi está ubicada a 4.400 metros de altura sobre el nivel del mar, en la zona altiplánica de la Región de Tarapacá, en el extremo norte de Chile.

Sus instalaciones industriales y sus yacimientos Rosario, Ujina y Huinquintipa están ubicados en la comuna de Pica, a 185 km al sureste de la ciudad de Iquique, a una altitud promedio de 4.400 metros sobre el nivel del mar. En la Figura 6 se observa en color negro el emplazamiento y extensión del yacimiento.



Figura 6. Ubicación Collahuasi [Fuente: Reporte anual de sustentabilidad 2011]

En Ujina está ubicada la planta concentradora, desde donde nace un mineroducto que se extiende a lo largo de 203 km (se observa en naranja en la Figura 6) hasta las instalaciones de filtrado y embarque de la Compañía, situadas en Punta Patache, a unos 65 km al sur de Iquique, cuya labor es trasladar el concentrado de cobre. En este lugar se ubica también la planta de molibdeno y el terminal portuario donde se embarcan los productos procesados con destino a los mercados internacionales.

Las oficinas principales de la Compañía están ubicadas en Iquique, donde funciona la Presidencia Ejecutiva. Además, la empresa cuenta con oficinas corporativas en la comuna de Pica, en la misma región, y en la ciudad de Santiago de Chile. [1]

1.2. Producción.

CMDIC es una empresa minera extractiva y, por lo tanto, no comercializa productos terminados para consumo directo. Su producto principal es el concentrado de cobre, siendo ésta una materia prima semi-elaborada que es entregada para su elaboración final a los clientes.

El proceso productivo de Collahuasi se desarrolla a partir de 3 yacimientos, del cual actualmente opera a su plena capacidad solo el Rajo de Rosario y, de forma parcial el rajo de Ujina. [1]

El principal proceso de Collahuasi es la línea de los sulfuros, la cual consiste en las siguientes operaciones: Extracción de mineral; Tronadura; Carguío; Chancado; Molienda y clasificación; Flotación y finalmente la etapa de Concentración.

En la Figura 7 se distingue las dos líneas de procesos, por una parte la línea de los sulfuros (amarillo), y por otra, la línea de los óxidos (rojo). Como se ha mencionado actualmente, todos los procesos de extracción, carguío y transporte se desarrollan en Rosario.

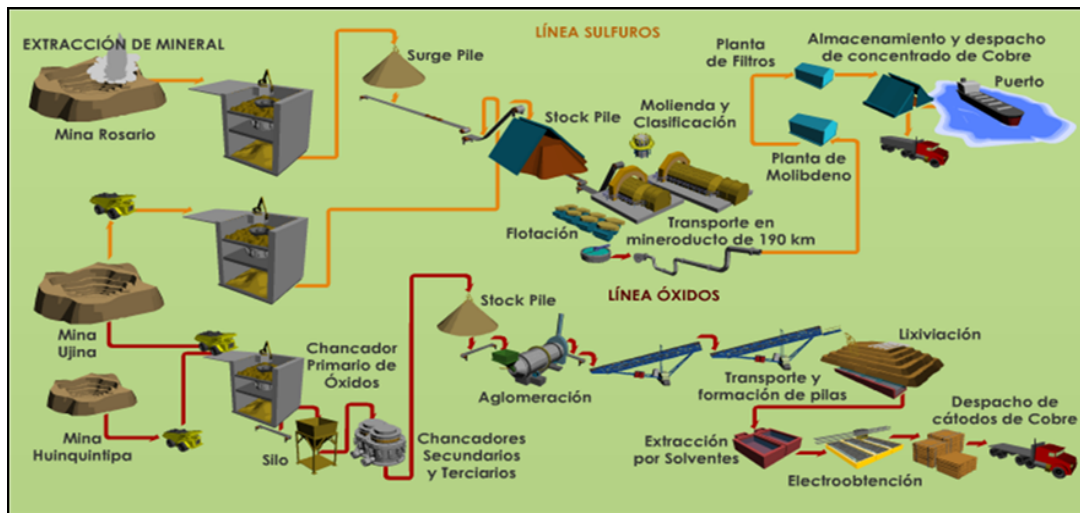


Figura 7. Proceso productivo Collahuasi [Fuente: Portal en línea de CMDIC]

En 2011 la Compañía produjo 453.284 toneladas de cobre, equivalente al 8,6% del total de fino producido en Chile. De ese volumen, 417.282 toneladas correspondieron a fino contenido en concentrado y 36.002 toneladas a fino contenido en cátodos. En tanto, su producción de molibdeno ascendió a 6.659 toneladas, creciendo 49% respecto del año anterior. [3]

2. Descripción de Perforadora Atlas Copco Pv351

En este capítulo se presenta una breve descripción del equipo en general y de los mecanismos más importantes, así como su disposición física y el funcionamiento básico de cada sistema que se encuentra integrado en la máquina.

En primera instancia se observa una imagen real de una perforadora tomada desde el lado No cabina o izquierdo, para tener una idea del aspecto del equipo y su relación de tamaño.



Figura 8. Perforadora PV 351 [Fuente: Manual de instrucciones, operación y mantenimiento PV351 Atlas Copco]

2.1. Descripción general.

El equipo, modelo PV351 de Atlas Copco, es una perforadora con motor diésel de dirección de cabeza superior hidráulica, instalado en una oruga, específicamente diseñado para la producción de perforaciones de agujeros por medio de una acción giratoria del cabezal en bancos preparados que son planos y firmes.

Utiliza una carrocería tipo excavadora (utilización de orugas de tracción), dirigida directamente por un sistema de engranaje del planetario y dos motores hidráulicos. Una horquilla de oscilación de “viga en movimiento” permite que la perforadora se propulse sobre un terreno disperejo con menos tensión de torsión en el marco principal. La barra ecualizadora fortalece el marco principal y “flota” para mantener la alineación adecuada del sistema de transmisión.

El motor diésel está conectado directamente a una caja de engranajes que transmite el movimiento a un conjunto de bombas hidráulicas en un extremo y al compresor de aire conectado directamente en el otro extremo. La PTO, el motor diésel y el compresor de aire están montados sobre una plataforma flotante.

La perforadora está equipada con un compresor superior/inferior asimétrico de baja presión para perforación giratoria. Las funciones de perforación reciben alimentación hidráulica y se utiliza aire comprimido para limpiar el agujero. Un motor diésel impulsa las bombas hidráulicas y el compresor. Los elementos hidráulicos y eléctricos controlan los sistemas que soportan las funciones de perforación.

El equipo incorpora cuatro gatos de nivelación para mantener la perforadora a nivel y estable mientras se está perforando. La torre está construida con tubería de acero soldado. Un cambiador de varilla perforadora tipo carrusel se encuentra instalado en la torre y sostiene dos piezas de 35 pies (10,67 m) de largo. Dos cilindros hidráulicos bajan y suben la torre. El cambio de la varilla perforadora se realiza al mover la varilla perforadora hacia adentro y afuera del carrusel y de la cabeza giratoria. La cabeza giratoria se utiliza para mover toda la varilla perforadora hacia adentro y afuera del agujero. Todas las funciones de perforación se controlan desde la pantalla de tacto y los controles en el asiento del operador, lo que reemplaza la consola tradicional. El asiento del operador está colocado junto a la tabla de perforación.

Las perforadoras diésel PV351 no están diseñadas para aplicaciones de movimientos terrestre iniciales. Tampoco para ser utilizadas en superficies inclinadas o sobre una superficie de tierra suave e inestable, sin una capacidad de carga para soportar y mantener adecuadamente la estabilidad del perforador mientras está funcionando.

2.2. Consideraciones asociadas al funcionamiento general del la Perforadora.

Es muy importante conocer las limitaciones del equipo, ya que una operación sub estándar provoca serios perjuicios en el equipo como se establece en el Capítulo 4. A continuación se dan a conocer las principales consideraciones que inciden directamente en un deterioro del equipo cuando dichas actividades no son efectuadas de manera correcta. Se plantea en primer lugar, cómo se debe realizar el transporte y remolque del equipo (relevante para el mantenimiento), luego las limitaciones de funcionamiento y otros aspectos asociados al mantenimiento y operación del equipo.

2.3. Transporte y remolque.

Debido a los recursos de tiempo, HH y equipos auxiliares que se necesitan, además de la coordinación logística para el transporte dentro de la mina, una de las decisiones más críticas es cuando se realiza una operación de traslado del equipo para ubicarlo en otro banco o remolcar a taller para un mantenimiento mayor. Esta actividad debe llevarse a cabo tal como se indica a continuación, ya que debido a las características del equipo, el incumplimiento del procedimiento establecido por fábrica, puede afectar negativamente a los diversos componentes del equipo, en especial aquellos relacionados con el Sistema de Propulsión y Rodado.

La perforadora puede trasladarse desde un banco a otro o a una distancia no mayor a 200 metros a la vez, con la torre en posición vertical siempre que el suelo sea nivelado, estable y no existan obstrucciones que ocasionen que la perforadora se vuelque, de lo contrario, se debe ubicar la torre a una posición horizontal para bajar el centro de gravedad del equipo, y trasladar con la cabina al frente, para tener mejor visibilidad tal como recomienda el fabricante.

Cada vez que se mueva la perforadora PV 351 en una distancia mayor que la del seguimiento del patrón de perforación, es decir entre agujeros adyacentes. Se debe realizar en las condiciones antes mencionadas, para evitar que la cadena del rodado,

la cual corre desde la parte superior de la rueda tensora hacia la parte superior de la rueda motriz, permanezca tensa. La forma recomendada permite que la cadena esté relajada. No hacer caso a esta recomendación genera cargas adicionales al Mando Final, Rueda Tensora y Tren de Oruga.[6]

Por recomendación del fabricante, para distancias mayores a 200 metros, la perforadora debe ser trasladada mediante un equipo auxiliar tipo cama baja o *Towhaul* y nunca de forma autónoma. Las consideraciones que se deben tener para realizar este procedimiento son las siguientes:

- Asegurar que el equipo esté en un área nivelada con la barra de remolque instalada
- Bajar la cabeza giratoria y luego bajar la torre, retirar la broca y varilla de la perforadora.
- Asegurar que todos los gatos hidráulicos y cortinas de polvo estén completamente retraídos
- No exceder la velocidad para realizar tramos (1MPH)
- Circular siempre por zonas estables y niveladas

2.4. Limitaciones de funcionamiento.

El exceder las limitaciones de inclinación y configuración de la perforadora, puede ocasionar que el equipo se vuelque. Antes de colocar la perforadora en posición, siempre se debe determinar el grado de funcionamiento seguro de la perforadora con la torre hacia arriba y abajo. A continuación se presentan las limitaciones:

- La perforadora viene equipada para un rango de trabajo de temperatura ambiente nominal entre los límites de 52° C máximo y -9°C mínimo [6].
- Se deben revisar estrictamente los ángulos permitidos sobre el rodado o sobre los gatos, siendo el límite máximo 20° sobre las pistas con la cabina hacia arriba y la torre hacia arriba y 6° de inclinación cuando se está sobre los gatos hidráulicos con la cabina hacia arriba y la torre arriba [6].

2.5. Especificaciones de los Componentes Principales.

Con el fin de conocer cada sistema o componente principal del equipo y tener una aproximación de las funciones o parámetros, se presenta en esta sección una breve descripción de los principales componentes que conforman este equipo. En la Figura 9 se aprecian los componentes generales que posee una perforadora, seguido por la Figura 10 que muestra la disposición de cada elemento principal en la Perforadora PV351 en vista de planta.

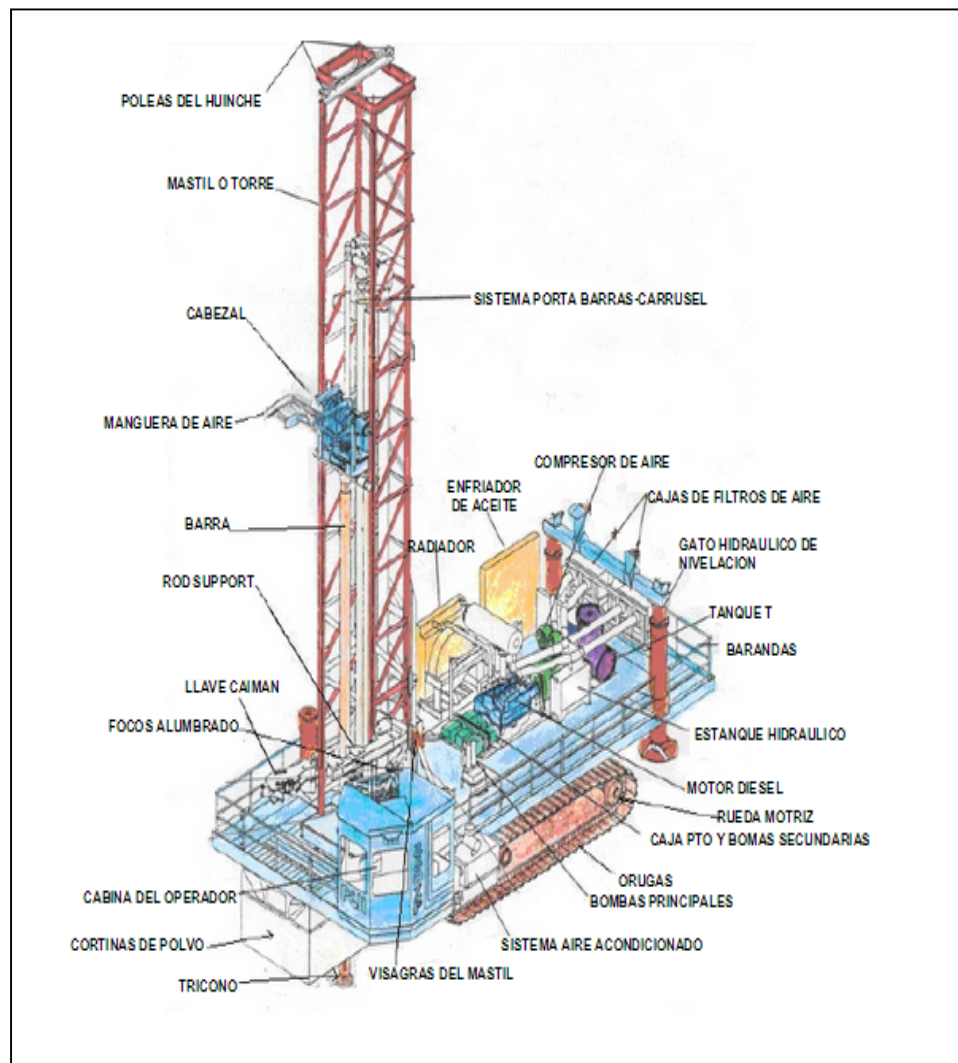


Figura 9. Ilustración general de los componentes de una Perforadora [Fuente: manual de instrucciones, operación y mantenimiento PV351 Atlas Copco]

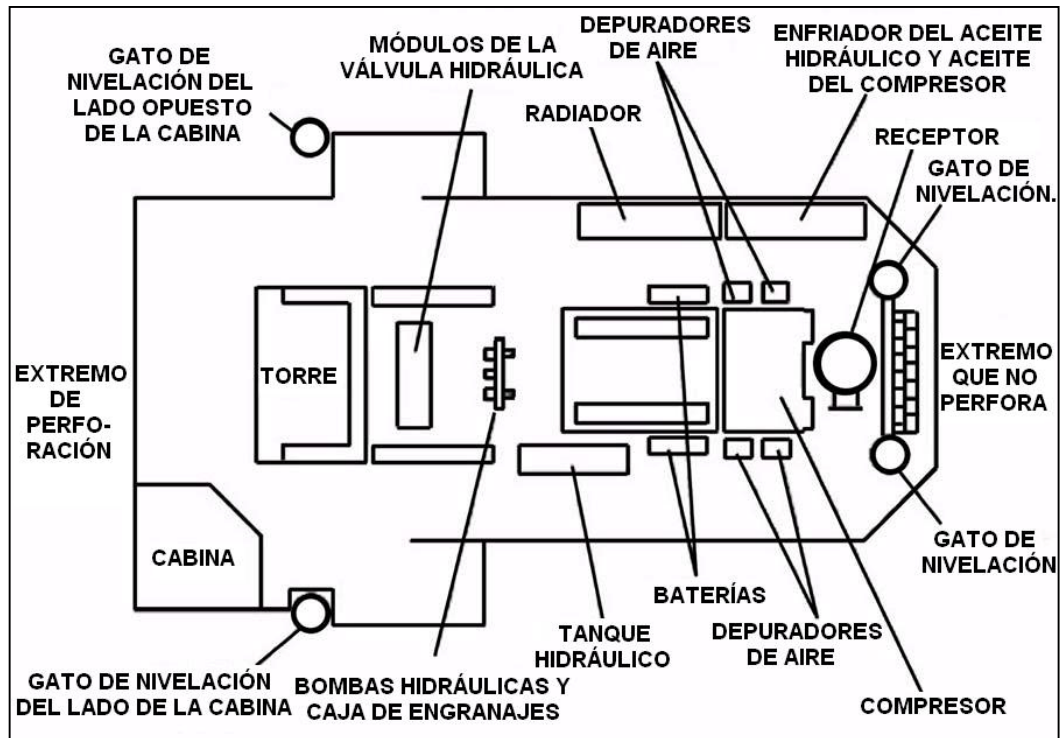


Figura 10. Vista de planta, componentes principales perforadora PV351 [Fuente: manual de instrucciones, operación y mantenimiento PV351 Atlas Copco]

El ordenamiento que utiliza el manual, es igual al que utiliza la compañía para agrupar los sistemas principales del equipo, los cuales son:

- Marco Principal
- Carrocería y el sistema de propulsión.
- Torre
- Cabezal giratorio
- Sistema de alimentación
- Transmisión
- Compresor
- Sistema hidráulico
- Inyección de agua
- Cabina del operador

2.5.1. Marco principal

La perforadora PV351, utiliza un marco diseñado por Atlas Copco *Drilling Solutions* y construido de una viga en I unidas por soldadura, que pesa aproximadamente 326 lb/pies (47,8 kg/m). La estructura además posee un sistema de gatos de nivelación hidráulico de cuatro puntos, de 72" (182,88 cm) de carrera, con protectores de gato de 45" (114,30 cm) de diámetro exterior. [6] El chasis se muestra en la Figura 11.

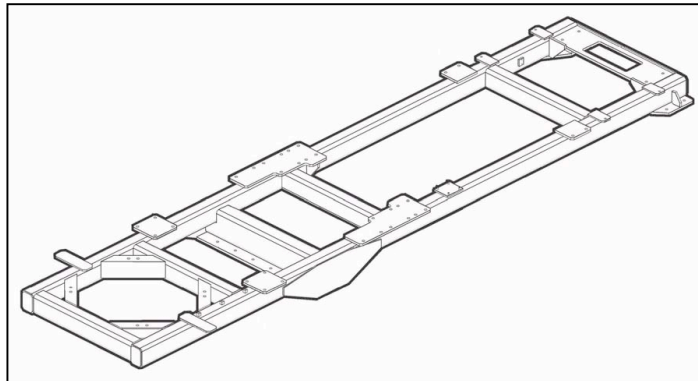


Figura 11. Marco principal [Fuente: Manual de instrucciones de PV 351, CMDIC]

2.5.2. Sistema de Propulsión y Rodado.

El modelo de perforadora PV351 utiliza una carrocería tipo excavadora, modelo CAT375 personalizada. Esta carrocería es dirigida directamente por un sistema de engranaje planetario y dos motores hidráulicos. Para evitar sobre esfuerzos de torsión, la perforadora está equipada con una barra ecualizadora que une ambos bastidores y permite distribuir los esfuerzos.

En la Figura 12 se aprecia la pista del equipo, o también conocido como oruga o rodado, es decir, el conjunto de zapatas, pernos pasadores y rodillos, tomada desde la posición del mando final. La longitud total de la oruga es de 28' 10" (8.178,8 mm) y la longitud de contacto con la tierra es de 22' 10" (6.959,6 mm). [6]

Una de las características del modelo PV351 es que el mando final o rueda motriz del sistema de propulsión se encuentra en el extremo opuesto a la torre. Además al quedar del otro lado del mástil de perforación y todos los componentes asociados al proceso de perforación, permite un acceso más ergonómico a la hora de realizar mantenimiento.

El rodado posee una rueda de tracción o mando final, en cuyo interior se encuentra la caja de engranaje planetario, que transmite la energía desde el motor hidráulico directamente a la cadena. En la parte posterior del rodado se encuentra la rueda tensora, la cual mantiene tensada la cadena, y además cuenta con un *sprocket* para unirse a la cadena. Finalmente, el rodado utiliza 13 rodillos inferiores y 5 rodillos superiores que hacen la guía de la cadena; estos rodillos están ubicados estratégicamente para la distribución de carga con relación a la posición de la torre (vertical u horizontal). Tanto el rodado derecho, como el izquierdo, poseen componentes idénticos. Las bases de la pista o comúnmente llamadas zapatas son de tipo *Grouser* de bar doble, que es una zapata que cuenta con 3 garras de tracción, de 35,4" (900 mm) de ancho.

El sistema de propulsión cuenta con dos motores hidráulicos de desplazamiento fijo, con un pistón axial que entrega una potencia de 346 HP (258 kW), con un volumen de 15,25 pulgadas cúbicas por revolución. Estas características permiten que la perforadora se mueva con un rango de velocidad de 0 a 1,77 km/h. Por último, el sistema cuenta con frenos tipo placas y resortes, los cuales son activados hidráulicamente mediante una bomba doble. [6]



Figura 12. Rodado CAT375 [Fuente: Manual de instrucciones de PV 351, CMDIC]

2.5.3. Mástil de perforación.

El mástil o torre es la estructura de soportar las cargas que se producen en el proceso de perforación, así como también, dar sustento a los distintos componentes involucrados. La torre está diseñada para sostener la cabeza giratoria mientras sube y baja la tubería de perforación, además de resistir el torque que ejerce la cabeza giratoria durante la operación de perforación. La cabeza giratoria posee un sistema de alimentación hidráulica. Un grupo de poleas en la parte superior e inferior de la torre sostienen las líneas de alimentación.

Otro componente que se adhiere a la estructura del mástil es el cambiador de varillas o carrusel, como se observa en la Figura 13. Las varillas se encuentran unidas a la cabeza superior y transmite el movimiento giratorio. Es necesario que la estructura de la torre esté adecuadamente alineada con las varillas para un correcto posicionamiento en el agujero. [6]



Figura 13. Mástil PV351[Fuente: Manual de instrucciones de PV 351, CMDIC]

2.5.4. Sistema de alimentación.

El sistema de alimentación consiste en un cabezal giratorio, dos cilindros de alimentación hidráulica y un cable conectado a las placas de montaje, las cuales, se encuentran unidas al envoltorio de la cabeza giratoria. Se alimenta por los dos cilindros de alimentación que elevan y bajan la cabeza giratoria suave y positivamente por medio de un cable de trabajo pesado para penetrar y retraer. La

tubería de perforación de un amortiguador secundario o rueda secundaria, varilla perforadora de 2x35 pies, punta secundaria o estabilizadora y la broca. [6]

2.5.5. Cabezal giratorio.

El cabezal giratorio, que se puede observar en la Figura 14, se utiliza para girar la tubería de perforación, agregar y retirar la varilla perforadora de la tubería de perforación. La tubería de perforación está conectada directamente a la cabeza giratoria, que le transmite el torque necesario para realizar la operación de perforación.

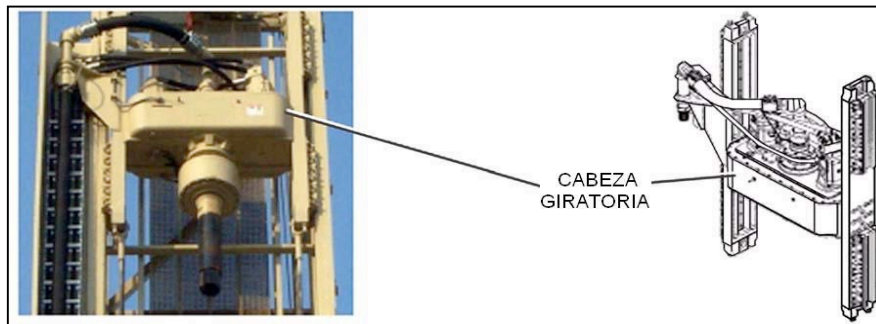


Figura 14. Cabezal giratorio [Fuente: Manual de instrucciones de PV 351, CMDIC]

Las opciones de perforación se pueden manejar desde la cabina del operador, utilizando la pantalla. Gracias al sistema integrado de control RCS se puede regular y monitorear la velocidad de rotación que entregan los motores en el cabezal. [6]

2.5.6. Sistema de transmisión (Motor).

El sistema de transmisión consta de un motor diésel directamente conectado a un compresor de aire en un extremo y al eje de la toma de fuerza o PTO en el otro extremo. Este ensamble completo del motor está instalado en su propia base secundaria, la cual a su vez está instalada sobre el marco del equipo, como se aprecia en la Figura 15. La base secundaria “se encuentra separada del marco principal y su

función es aislar los componentes del sistema de transmisión de cargas por impacto de propulsión y de perforación y ayuda a mantener la alineación entre éstos. La configuración en línea de estos componentes (motor, compresor y bomba hidráulica) maximiza la eficiencia mecánica.

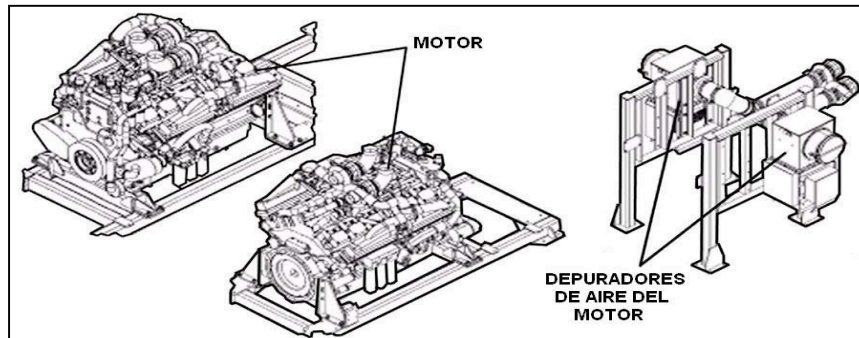


Figura 15. Motor Diésel [Fuente: Manual de instrucciones de PV 351, CMDIC]

El motor del sistema de transmisión es diésel, modelo CAT 3512 de 1650 HP y 1800 RPM. Esta versión posee 12 cilindros de 170 mm de diámetro por 190 mm de carrera, turbo-cargadores gemelos y un sistema de monitoreo Caterpillar. La capacidad de combustible es de 2271 litros, que se almacenan en dos tanques de 600 galones cada uno. [6]

2.5.7. Compresor de aire.

El compresor del sistema de transmisión es modelo IR 2x285 (dos unidades compresoras) y al igual que todos los compresores de aire que se utilizan en la perforadora PV351, es de tornillo giratorio asimétrico sumergido en aceite (*Drillcare LP-150*). El compresor es impulsado directamente por el motor diésel, de forma opuesta al *Power Pack*.

El equipo estándar para el compresor de aire, es mostrado en la Figura 16, el cual incluye depuradores de aire separados en tres etapas e instrumentación y controles

completos. El sistema de lubricación incluye un enfriador de aceite, válvula de desviación, filtro de aceite, bomba de aceite y receptor de aire de combinación y tanque separador de aceite.[6]

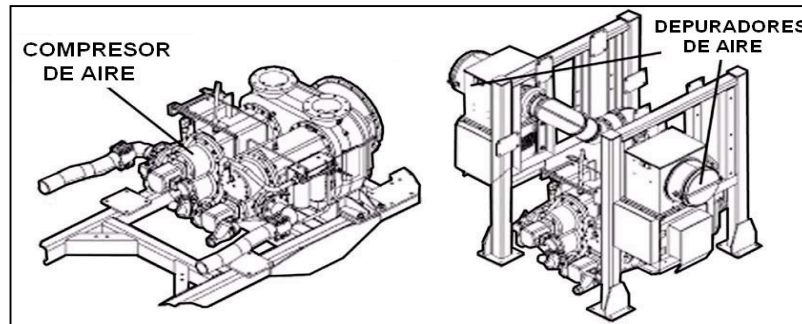


Figura 16. Compresor [Fuente: Manual de instrucciones de PV 351, CMDIC]

2.5.8. Sistema hidráulico.

Todas las funciones de perforación y propulsión se activan hidráulicamente. El sistema hidráulico consiste de un depósito hidráulico de 360 galones (1360,8 litros), bombas hidráulicas instaladas en una caja de engranajes de dirección de la bomba y varias válvulas, cilindros, tubos, mangueras y filtros. Un enfriador de aceite hidráulico asegura temperaturas bajas del aceite para maximizar la eficiencia del sistema y la vida del componente.

Son cinco las bombas hidráulicas que están instaladas en el equipo en una sola caja de engranajes de dirección. La caja está conectada al motor diesel a través de un eje de la transmisión y una configuración de acoplamiento. Esta distribución de componentes permite obtener un acceso conveniente para el servicio de mantenimiento. En la Figura 17 se muestran las bombas mencionadas.

Las dos bombas principales suministran potencia hidráulica a cualquiera de las funciones de perforación (rotación y alimentación del perforador) o funciones de tramo (propulsión). La bomba de dirección del ventilador suministra aceite a los motores del ventilador. Las bombas dobles de circuitos auxiliares suministran aceite a todas las otras funciones secundarias. [6]

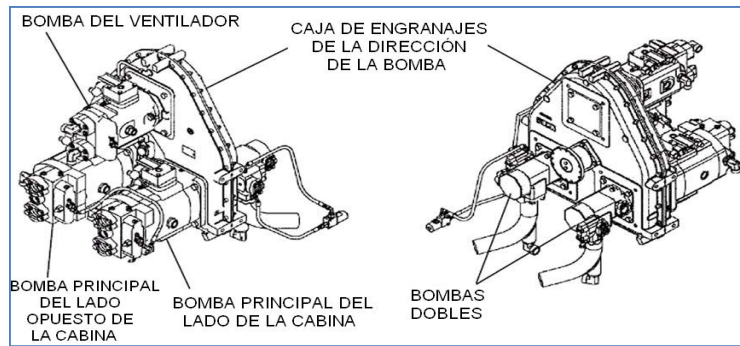


Figura 17. Bombas principales del sistema hidráulico [Fuente: Manual de instrucciones de PV 351, CMDIC]

2.5.9. Inyección de agua.

El Sistema de inyección de agua aplica una cantidad regulada de agua en el flujo de aire hacia el tubo de perforación. El contenido de agua elimina el polvo que resulta de la operación de perforación. Una bomba Caterpillar entrega un flujo de agua con un caudal de 0 a 95 litros por minutos e inyecta agua a una presión máxima de 550 psi. La bomba es accionada por un motor hidráulico de desplazamiento fijo de 6,2 pulgadas por revolución. [6]

2.5.10. Cabina del operador.

La cabina del operador está térmicamente aislada, calentada y ventilada. Está equipada con ventanas de vidrio de seguridad polarizado, un asiento del operador y dos puertas con seguro. Cuenta con una estructura FOPS (estructura protectora contra la caída de objetos) que además reduce el sonido a menos de 80 dBA. [6]



Figura 18. Cabina del Operador [Fuente: Manual de instrucciones de PV 351, CMDIC]

3. Marco teórico.

En este capítulo, se exponen las teorías involucradas en el análisis de efectos y modos de falla de la perforadora Atlas Copco PV351, principalmente los que están asociados a las técnicas que se han utilizado. Se profundiza en las herramientas relacionadas a la teoría del Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMEF o FMEA por sus siglas en inglés); la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC o RCM por sus siglas en inglés), y el Análisis de Árbol de Falla (AAF o FTA por sus siglas en inglés).

Se comienza con la descripción la teoría básica asociada al mantenimiento en general y su rol dentro de una empresa. Posteriormente, se desarrollan los conceptos del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad y las herramientas que se utilizan para desarrollar el AMEF y los análisis cualitativos y cuantitativos de las fallas.

3.1. Fundamentos del mantenimiento de activos.

El mantenimiento representa, generalmente, una función de apoyo a otras áreas, habitualmente de operación o producción. Por lo tanto, es importante entender cómo se desarrolla esta función dentro de una empresa. Por otro lado, es necesario conocer el desempeño del mantenimiento, para esto se utilizan ciertos índices e indicadores que permiten medir la gestión que se está realizando sobre los activos.

En primer lugar, se debe establecer qué se entiende por mantenimiento en este estudio, ya que dependiendo del autor, se entregan distintos significados para el mismo concepto. El presente Trabajo de Título recurre a la norma francesa AFNOR 60.010, la cual define el mantenimiento como *“El conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien a un estado especificado o en capacidad de asegurar un servicio determinado.”* [7]. Una vez hecha esta aclaración, se procede a estudiar el funcionamiento del mantenimiento dentro de una empresa de tipo industrial.

3.1.1. Mantenimiento dentro de una empresa de tipo industrial.

Cuando se aplica la definición de mantenimiento al ámbito industrial, donde los bienes son activos tangibles de la empresa, aparece una intrínseca relación entre el tiempo en que estos activos están en condiciones de ser utilizados (disponibilidad) y el tiempo en que realmente se usan (utilización). Conceptos claves, siendo el primero asociado al mantenimiento, y el segundo a la operación de los equipos o activos de la empresa. El mantenimiento se presenta como una función altamente especializada en los equipos involucrados en el proceso productivo de la empresa, tiene como objetivo asegurar disponibilidad y calidad para cuando requieran ser operados. Para lograr esto, se realizan diferentes tipos de intervenciones en un equipo o instalación, las que se detallan en el apartado siguiente.

3.1.2. Tipos de intervenciones.

Se puede clasificar las intervenciones según cómo afecta al equipo y a la producción de la siguiente manera:

1. El equipo funciona y la producción continúa: rutas de mantenimiento preventivo, inspecciones de mantenimiento predictivo.
2. El equipo es detenido y la producción no es afectada: equipos redundantes.
3. El equipo es detenido y la producción se detiene.

Los dos primeros tipos de intervención no afectan la producción y dan libertad de planificación. El tercero es conocido como parada y puede ser programada o no.

3.1.3. Objetivos y estrategias de mantenimiento.

Es necesario fijar objetivos para la intervención de equipos, con el fin de ser lo más eficiente posible. Lyonnet [23] propone:

- Mantener los equipos en operación,
- Reducir el número de fallas con costo global mínimo, la idea se grafica en la Figura 19.

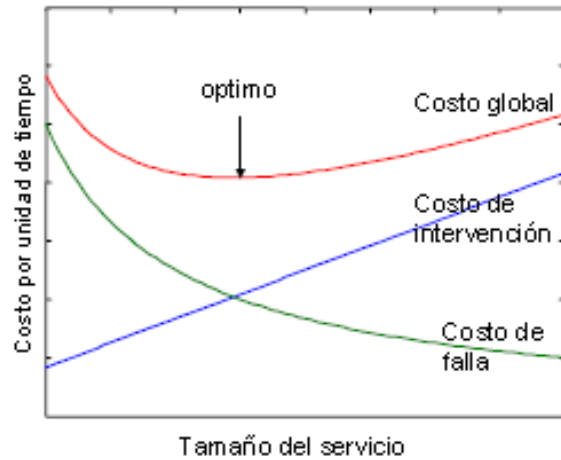


Figura 19. Nivel óptimo de mantenimiento [Fuente: Manual de Confiabilidad, John D. Campbell]

La Figura 19 representa la relación entre el nivel de servicio entregado por la función mantenimiento y el costo que se incurre para cada nivel, y tal como propone Lyonnet, se requiere minimizar el costo global del mantenimiento. Para llegar a este punto óptimo, se debe seleccionar entre las estrategias de mantenimiento disponibles [23]:

- Mantenimiento preventivo, o basado en el tiempo;
- Mantenimiento predictivo o basado en la condición de las máquinas;
- Mantenimiento reactivo o correctivo; que se aplica luego de aparecer una falla. Ello no implica que la reacción esté debidamente planeada
- Mantenimiento oportunista (preventivo + reactivo)

Dichas estrategias, poseen una gran importancia en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, debido a que este método recurre a la selección de estrategias para dar solución a los Modos de Fallas encontrados. Se describen a continuación cada una de estas técnicas.

3.1.3.1. Mantenimiento antes de la falla.

El mantenimiento no correctivo (preventivo y predictivo) se aplica prioritariamente a los componentes críticos de la producción. Una vez seleccionados los equipos, es necesario descomponerlos en sub-componentes que sean mantenibles [23]. Ejemplos: rodamientos, correas, engranajes, etc.

3.1.3.2. Mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo, es aquel que se realiza cíclicamente con el fin de prevenir fallas, bajo determinadas variables de producción y frecuencia de estas variables (tiempo, metro perforado/h). En caso de seleccionar mantenimiento preventivo para un equipo, es necesario establecer frecuencias de cambio de piezas, lubricación, etc. Para ello se realiza un análisis estadístico de los ciclos de vida. Las tareas a realizar deben ser descritas claramente en procedimientos y su registro debe ser llevado en reportes. Tal registro ayudará en la detección de fallas, y la evaluación de costos [23].

Cabe mencionar que el detener un equipo para realizar tareas preventivas de mantenimiento (inspecciones, cambios de filtro y aceite, cambio de componentes por frecuencia, etc.) puede resultar muy negativo para la función producción, ya que influye de forma negativa a la disponibilidad, sin embargo, en el mediano plazo mejora la confiabilidad [23].

3.1.3.3. Mantenimiento predictivo.

Esta estrategia establece que un componente solamente debe ser cambiado si muestra deterioro o alguna condición que pueda afectar su desempeño, por este motivo, para la utilización de esta estrategia se debe recurrir a herramientas de inspección, análisis y monitoreo y, por lo general, son especialistas en monitoreo y condiciones quienes realizan dicha labor. Los especialistas recurren a algunas técnicas, tales como: análisis de vibración y ruido, termografías, entre otros [23].

3.1.3.4. Mantenimiento después de la falla o reactivo.

Esta es una estrategia en la cual no se llevan a cabo labores preventivas de falla, sólo se busca estar preparado para reaccionar lo más eficientemente ante la aparición de una falla o problema del activo [23].

3.1.3.5. Mantenimiento oportunista.

Se conoce como mantenimiento oportunista a aquel que combina el mantenimiento correctivo con el mantenimiento preventivo. Esta fusión de estrategias permite aprovechar la aparición de una falla y su efecto de detención sobre el equipo para realizar tareas preventivas que de otra manera afectarían la disponibilidad del equipo para producir, e incrementarían el costo global de mantenimiento. Este tipo de estrategia es aplicable cuando la reparación de un componente requiere desarmar el sistema completo, por lo que, conviene combinar la reparación correctiva del componente con el recambio preventivo de los componentes aledaños [23]. Existen dos posibles variaciones de esta estrategia:

- realizar tareas preventivas oportunistas tan pronto aparece la falla,
- posponer las tareas correctivas hasta el próximo *overhaul* programado.

3.2. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC)

En esta sección se aborda la teoría y metodología asociada al MCC, así como también las normas que gobiernan esta técnica de mejoramiento continuo.

Se describen en este apartado los conceptos básicos y el alcance del MCC dentro de una compañía. En primer lugar, se desarrolla una breve contextualización y las principales características que convierten al MCC en una herramienta óptima para controlar y reducir fallas en el sistema crítico del equipo. Luego se profundiza en la metodología, definición y descripción del MCC, así como los siete pasos fundamentales para lograr una correcta aplicación de esta metodología.

3.2.1. Definición y alcance del MCC

Para explicar que es MCC se cita a Jim V. Picknell, quien define el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) como un *“proceso lógico y técnico para determinar los requerimientos apropiados de tareas de mantenimiento, así lograr la confiabilidad de diseño de sistema bajo condiciones operacionales específicas en un ambiente operacional específico”* [8].

Como se establece en el párrafo anterior, el objetivo del MCC es entregar una guía para definir tareas de mantenimiento adecuadas. Se sustenta en base a los modos de fallas detectados, mediante un análisis proporciona actividades de mantenimiento para cada uno de estos modos de fallas. La metodología faculta de esta manera la selección de tareas apropiadas según una estructura bien definida, que permite enfocar los esfuerzos en las tareas más críticas, abordándola de forma simple y eficaz [9].

La norma SAE JA1011, establece el conjunto de criterios que cualquier proceso debe cumplir para ser calificado como un MCC, y éste será el estándar utilizado durante el desarrollo del MCC para el equipo Atlas Copco PV351.

3.2.2. Características del MCC.

La aplicación del MCC resuelve el problema de la selección de estrategias y opciones del mantenimiento, que son variadas y numerosas en la industria, mediante una estructura que permite llevar a cabo la evaluación y selección de procesos, que generalmente se pueden implementar en forma rápida y segura. Esta técnica permite obtener excelentes resultados en cuanto a mejoras y rendimiento del equipo donde quiera ser aplicado. Además, ha sido llevado a cabo en numerosas empresas con gran éxito.

Una de las claves de este proceso, es que pone énfasis tanto en las consecuencias como en las características técnicas de la falla, integrando una revisión de las fallas con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente. Esto hace

que la seguridad y el medio ambiente sean considerados a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.

El MCC además mantiene la atención en las actividades de mantenimiento que más incidencia tienen en el desempeño del equipo, esto garantiza que los costos del mantenimiento se gasta donde más beneficio va a generar. Permite además establecer políticas de trabajo y decidir qué repuestos se deben tener en el inventario, ahorrando en costos de inventariado, o en costos adicionales en urgencias de solicitar los repuestos. Finalmente, el MCC permite ahorrar en costos de prueba y tiempo de documentación [9].

Lamentablemente, no se puede alcanzar una confiabilidad mayor que aquella que fue diseñada en los sistemas por el proveedor. Cada componente tiene sus propios y únicos Modos de Falla con sus respectivas tasas de falla. [8]

3.2.3. Las Normas SAE JA1011 y SAE JA1012.

Las normas SAE JA1011 y SAE JA1012, entregan los estándares de SAE para cualquier organización que quiera aplicar de manera responsable el MCC. Ambas estructuran de manera simple y metódica como se debiese realizar un MCC.

La norma JA1011 indica que el MCC es un proceso específico, usado para identificar qué políticas deben ser implementadas para administrar los modos de fallas, las causas de las fallas funcionales de cualquier activo fijo en un contexto operacional dado [10].

3.2.4. Los 7 pasos del MCC.

El estándar SAE JA1011, establece que existen siete preguntas fundamentales que un MCC debiese responder satisfactoriamente, estas son:

1. ¿Qué funciones debe desempeñar el activo?
2. ¿De qué manera puede fallar?
3. ¿Que origina la falla?

4. ¿Qué sucede cuando falla?
5. ¿Importa si falla?
6. ¿Qué se puede realizar para prevenir la falla?
7. ¿Qué ocurre si no se puede prevenir la falla?

Todos estos pasos deben ser profundamente desarrollados, según los estándares y requisitos de la norma SAE JA1011. Además el Manual de Confiabilidad [9] establece los siguientes pasos que un MCC debiese seguir:

1. Identificar el equipo/sistema a ser analizado;
2. Determinar sus funciones;
3. Determinar qué es lo que constituye falla de esas funciones;
4. Identificar los Modos de Falla que causan esas fallas funcionales;
5. Identificar los impactos o efectos de ocurrencia de esas fallas;
6. Usar la lógica MCC para seleccionar tácticas apropiadas de mantenimiento; y
7. Documentar su programa final de mantenimiento (sujeto a perfeccionamiento conforme vaya obteniendo experiencia operacional).

La estructura establecida por el Manual de Confiabilidad responde perfectamente a las preguntas establecidas por la SAE JA1011. En resumen, se establece que una vez identificado el equipo o sistema crítico, se procede a un Análisis de Modo y Efecto de Falla, en donde se determinan los modos de fallas individuales y luego una gestión de falla que termina documentado en un plan de mantenimiento estratégico para eliminar, reducir o manejar los modos de fallas detectados.

3.2.5. Metodología.

El estándar SAE, JA1011 establece un conjunto de criterios que cualquier proceso debe cumplir para ser calificado como RCM. pero no especifica el proceso en sí. Jim V Picknell introduce una visión general de estructura que cualquier proceso de RCM debiese seguir el cual se muestra en la Figura 20.

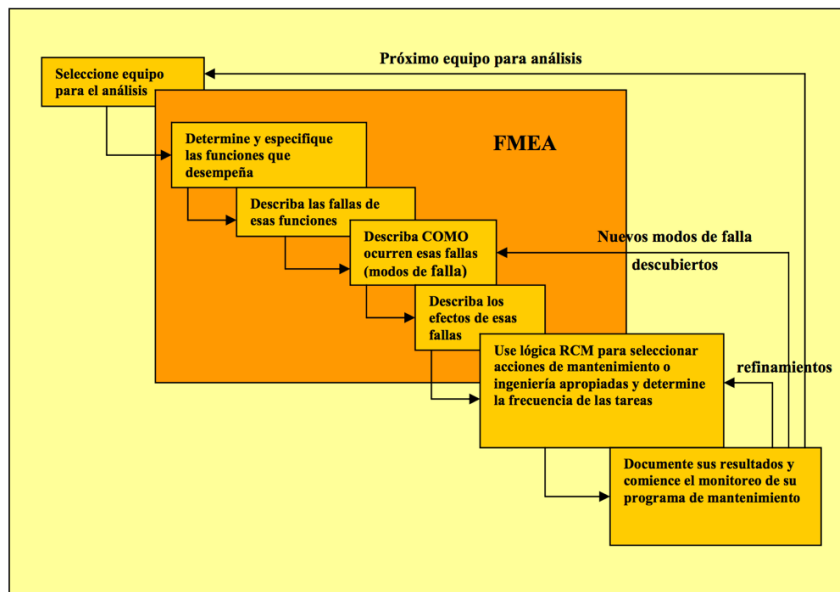


Figura 20. Visión general de la Metodología MCC [Fuente: Jim V. Picknell “The Reliability Handbook”]

3.3. Herramientas utilizadas en la caracterización del desempeño de mantenimiento.

Este capítulo describe las herramientas utilizadas en el desarrollo Trabajo de Título, las cuales tienen como finalidad seleccionar el o los componente(s) críticos del equipo, válido para aplicar el MCC y así encausar el estudio en analizar los focos vitales, una de las características principales de este proceso.

3.3.1. Indicadores de desempeño de mantenimiento.

Los conceptos matemáticos asociados al mantenimiento y gestión de activos son variados, en esta sección se presentan los indicadores que aplican exclusivamente en este trabajo de título y que permiten llevar a cabo el estudio analítico de la criticidad de los componentes. Dado que las fallas de los equipos son eventos aleatorios, se mostrarán los principales conceptos y modelos estadísticos que gobiernan el mantenimiento de activos.

A modo de nota, se debe considerar que para efectos de este trabajo, las definiciones mostradas en los apartados siguientes se rigen bajo las condiciones especificadas bajo el funcionamiento de la perforadora PV351 establecidas en el Capítulo 4.3.1.

3.3.1.1. Confiabilidad.

La Confiabilidad de un componente en el instante t , $R(t)$, se define como la probabilidad de que un equipo, máquina o sistema no falle en el intervalo $(0, t)$, dado que el objeto bajo estudio se considera nuevo en el instante $t = 0$. [22] Se estipula que la definición es válida para el contexto señalado de operación del equipo.

Si se considera N componentes supuestamente idénticos, todos nuevos o como nuevos en $t=0$. Sea $N - n$ el número de componentes que fallan en el intervalo $[0, t]$. $R(t)$ puede ser estimada a partir de: [22]

$$R(t) = \frac{n(t)}{N} \quad (6)$$

3.3.1.2. Probabilidad acumulada de fallas.

La probabilidad acumulada de falla $F(t)$ se define como la probabilidad de que un equipo, sistema o componente falle en el intervalo $(0, t)$. Entonces:

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (7)$$

Y puede ser estimada como:

$$F(t) = N - \frac{n(t)}{N} \quad (8)$$

3.3.1.3. Densidad de probabilidad de falla

La función densidad de probabilidad de fallas $f(t)$ se define como la probabilidad instantánea de que un Equipo, sistema o componente que no ha fallado en el intervalo $(0, t)$ falle en el intervalo $(t, t + dt)$. [22]

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (9)$$

3.3.1.4. Vida media.

La vida media de un componente no reparable es el valor de tiempo esperado para que el componente falle. También es conocido como el tiempo medio para fallar, o MTTF por sus sigla en inglés. [22]:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (10)$$

3.3.1.5. Tasa de falla.

La tasa de falla (λ) se define como el numero esperado de fallas del sistema o de un componente en el intervalo $(t, t + dt)$. Se mide en fallas por unidad de tiempo. Se puede definir tasa de falla de un intervalo $[t_1, t_2]$. [22]

$$\lambda(t) = \frac{R(t_1) - R(t_2)}{R(t_1)(t_2 - t_1)} \quad (11)$$

O como una tasa de falla instantánea (en inglés, *hazard rate*)

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)(\Delta t)} \right] = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (12)$$

También se define la tasa de fallas como el número de fallas por unidad de tiempo en el instante t dividido por el número de componentes operando en el instante t :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{n(t)(\Delta t)} \right] \quad (13)$$

3.3.1.6. Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF).

Un indicador útil es el tiempo medio entre fallas (TMEF o MTBF por sus siglas en inglés); o en otras palabras, el tiempo promedio en que el equipo no falla. Este indicador se refiere al tiempo promedio que transcurre entre que el equipo sale de una intervención correctiva y la detención por falla siguiente, es decir, el tiempo medio entre fallas. Matemáticamente ello corresponde a la esperanza de T (siendo T el periodo entre 2 fallas), dada la función de distribución $f(t)$. [22]

$$MTBF = \int_0^{\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (13)$$

Desde el punto de vista de variables discretas es la relación entre los tiempos de operación o tiempo que se encuentra disponible el equipo y el número total de fallas detectadas en el período observado, después de la ocurrencia de la última falla. [13]

$$MTBF = \frac{Hop}{N} \quad (14)$$

Donde, MTBF: Tiempo medio entre fallas

Hop: Horas operativas del equipo del periodo

N: Número de fallas durante el periodo

3.3.1.7. Tiempo Medio Para Reparar (TMPR o MTTR).

Indicador que señala el tiempo promedio utilizado para llevar a cabo el mantenimiento del equipo. En vista del gran número de factores que afectan el tiempo total de intervención (detección, diagnóstico, reparación, control, etc.), es conveniente definir mantenibilidad $M(t)$ como la probabilidad de que la intervención se realice en un intervalo de duración t , luego.

$$M(t) = \int_0^{\infty} f(t)dt \quad (15)$$

donde $f(t)$ es la función densidad de probabilidad para el tiempo de reparación TTR. En forma similar a la confiabilidad, el valor esperado o “*Mean Time To Repair*” se calcula:

$$MTTR = \int_0^{\infty} t * f(t)dt \quad (16)$$

Para representar a la mantenibilidad se puede usar las mismas distribuciones empleadas para la confiabilidad. Una muy usada es la log-normal; ello se justifica pues el TTR se puede modelar en muchos casos como la suma de una distribución exponencial con otra normal. Tal suma es bien representada por una distribución log-normal [22].

3.3.2. Diagrama de Pareto.

El análisis de Pareto permite priorizar mediante un diagrama cuales son las fallas, sistemas o equipos que acumulan un mayor porcentaje de los recursos. También es conocido como el diagrama 80/20 ya que el 20% de las causas, acumulan el 80 % de los recursos empleados (costos, tiempo, etc.). Generalmente se representa en un diagrama como el que se observa en la Figura 22.

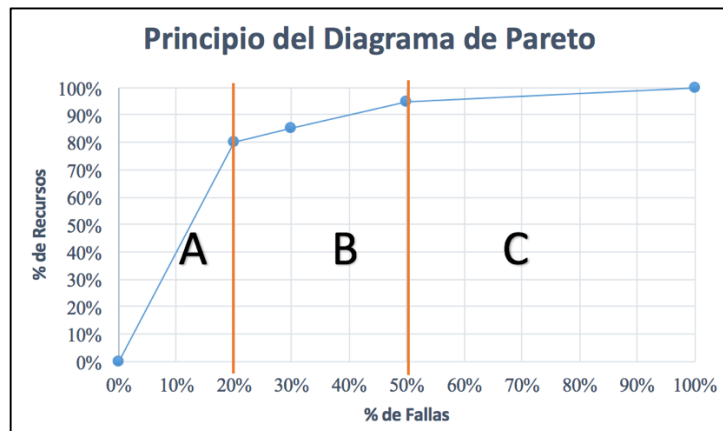


Figura 21. Diagrama de Pareto [Fuente: FUNDIBEQ. El Diagrama de Pareto (En línea)]

La Figura 21, representa la estructura tradicional que debería cumplirse, de igual forma se debiese aplicar la regla mostrada en la Tabla 1.

Tabla 1. Distribución de recursos versus la acumulación de fallas en el diagrama de Pareto [Fuente: FUNDIBEQ. El Diagrama de Pareto (En línea)]

Zona A	Zona B	Zona C
<ul style="list-style-type: none"> • 20% de fallas • 80% de recursos; 	<ul style="list-style-type: none"> • 30% de fallas • 15% de recursos 	<ul style="list-style-type: none"> • 50% de fallas. • 5% de recursos

Las variables de este análisis posee *un solo criterio* de priorización, en el caso concreto de fallas operacionales, estas pueden ser por ejemplo:

- **solo** por horas de parada
- **solo** por número de fallas (frecuencia)
- **solo** por costos directos
- **solo** por costos globales

Si bien el Diagrama de Pareto entrega una buena idea de cómo visualizar los focos vitales, posee las siguientes deficiencias:

- No permite analizar en base a varios criterios
- Se necesita gran cantidad de información en historiales
- Es aplicable Pareto solo para equipos supercríticos
- Y posee un difícil análisis de tendencia

Para solucionar estos problemas, sobre todo cuando lo que se necesita es analizar el comportamiento de la disponibilidad, que es el KPI (*Key Performance Indicator*) que se interesa mejorar, se recurre al diagrama el diagrama *Jack Knife*.

3.3.3. Diagrama Jack Knife

El método del *Jack Knife* es una técnica usada ampliamente para determinar de manera acertada la criticidad que tiene un elemento dentro de un conjunto de elementos con sólo conocer indicadores estadísticos básicos.

El método consiste en graficar en una escala logarítmica el número de detenciones versus el tiempo medio para reparar [15]. Entonces se tiene:

$$\text{tiempo detenciones} = N^{\circ} \text{ detenciones} \cdot \text{MTTR} \quad (20)$$

$$\log(\text{tiempo detenciones}) = \log(N^{\circ} \text{ detenciones}) + \log(\text{MTTR}) \quad (21)$$

Con la Ecuación 20 se obtiene un diagrama que no es cómodo de interpretar, razón por la cual, se grafica en una escala logarítmica el número de detenciones versus MTTR, tal esquema se muestra en la Figura 22. Al aplicar la Ecuación 21 se puede

linealizar las curvas, que funcionan como ejes en el diagrama y establecer distintas regiones de análisis con características bien definidas y fáciles de evaluar. Cuando la escala de los ejes es logarítmica, se obtiene una gráfica con líneas rectas como se muestra en la Figura 23.

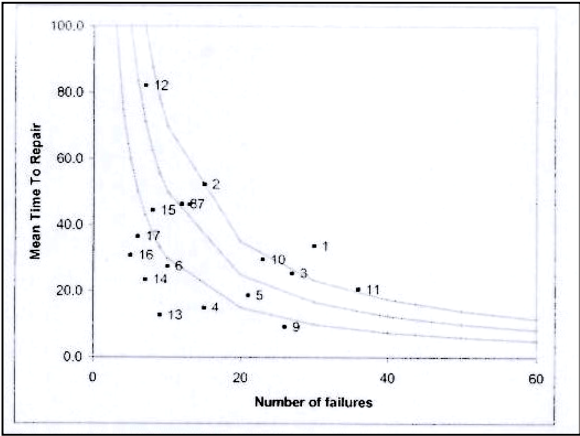


Figura 22. Dispersión de puntos en diagrama Jack Knife [Fuente: Down time Priorities, Jack Knife Diagrams and the Businnes Cycle, Peter F Knights Centro de Minería, PUC]

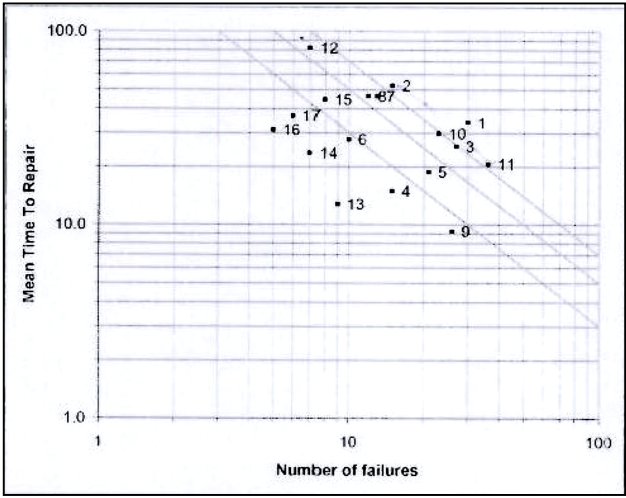


Figura 23. Dispersión logarítmica de cantidad de fallas versus MTTR [Fuente: Down time Priorities, Jack Knife Diagrams and the Businnes Cycle, P- Knights, Centro de Minería, PUC]

Para poder determinar la criticidad de los datos discretos, es necesario determinar límites que sean dependientes de las magnitudes de cada uno de los puntos graficados, para lograrlo, se fijan dos límites como básicos en la gráfica; **límite cantidad de detenciones** y **el límite MTTR**, cuya fórmula está dada por la Ecuación 22 y Ecuación 23 respectivamente, las cuales se presentan a continuación:

$$\text{lim. cant. detenciones} = \frac{D}{N} \quad (22)$$

Con:

- D= suma total de tiempos.
- N= cantidad de detenciones.

$$\text{lim. MTTR} = \frac{Q}{N} \quad (23)$$

Dónde:

$$Q = \sum_1^n MTTR \quad (24)$$

Con los parámetros antes fijados, se obtiene el un gráfico, como el de la Figura 24.

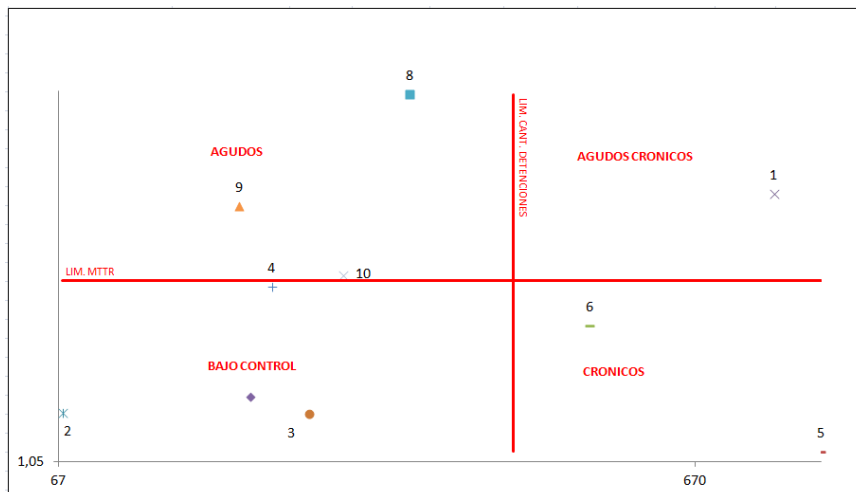


Figura 24. Dispersión logarítmica con límites integrados [Fuente: Down time Priorities, Jack Knife Diagrams and the Businnes Cycle, Peter F Knights Centro de Minería, PUC]

Se pueden distinguir cuatro cuadrantes, los que indican características respecto a la criticidad de los puntos individuales de Modos de Fallas, sistemas o grupos de análisis. Estos cuadrantes se describen a continuación:

- **Agudos:** son fallas que se repiten poco, pero que tardan mucho en repararse son típicas de sistemas confiables complejos que producen fallas catastróficas.
- **Crónicos:** son fallas repetitivas y fáciles de reparar y que podrían ser minimizadas con estrategias de mantenimiento preventivo acorde a la falla.
- **Agudas crónicas:** son fallas recurrentes y de gran complejidad para reparar características de malas estrategias de mantenimiento y/o que se originan por malas prácticas operacionales.
- **Bajo control:** son fallas poco habituales y fáciles de reparar, se les llama así porque en general no presentan una amenaza a la disponibilidad de los equipos. [15]

Ahora bien, existe un tercer límite que delimita si se está frente a problemas de disponibilidad, el límite ISO Disponibilidad y se define como:

$$lim. ISO disp = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (25)$$

La Ecuación 25 delimita generalmente la esquina superior derecha del diagrama de Jack Knife, la cual se encuentra oscurecida en la Figura 25.

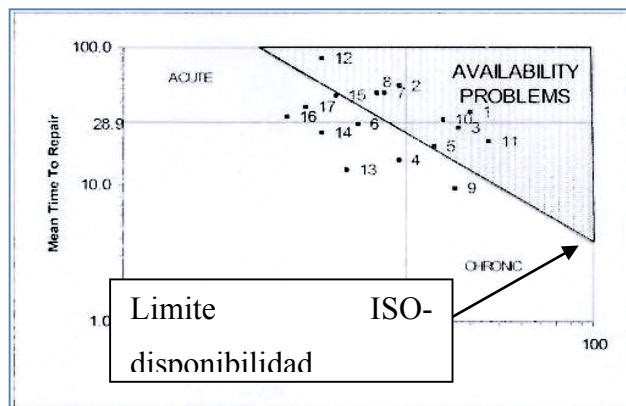


Figura 25. Representación del límite de disponibilidad en diagrama JK [Fuente: *Down time Priorities, Jack Knife Diagrams and the Businnes Cycle*, Peter F Knights, PUC]

3.4. Análisis de Modos de Fallas y efectos (AMEF)

El AMEF es un método cualitativo de análisis de riesgo operacional, que se refleja en un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un equipo antes que estas ocurran. Tiene como objetivo identificar los Modos de Fallas para evaluar la ocurrencia de causas y crear habilidades para detectarla. Entre sus beneficios y aplicaciones se destacan las siguientes:

- Mejora la calidad y satisfacción del cliente (Operaciones)
- Está bastante desarrollado para maquinaria

La metodología de AMEF, según la norma SAE JA1011, debe cumplir con algunos pasos mínimos, los que se definen en los apartados sucesivos:

3.4.1. Definir las funciones del equipo o sistema.

En general la función es lo que el usuario espera que realice el equipo o sistema, según la SAE JA1011; son los estándares de funcionamiento asociado al activo, en su actual contexto de operación.

Para definir las funciones hay que definir de igual forma el contexto operacional, ya que generalmente los fabricantes proveen equipos para condiciones estándar. Para definir el contexto se deben tener en cuenta lo siguiente [24]:

1. Como es utilizado el equipo
2. Donde es utilizado
3. Estándares de desempeño requerido
4. Criterios de respaldo

Todo equipo, componente o sistema posee una **Función Primaria** la que responde a la razón porque se ha adquirido el equipo, es decir, el principal característico, variable o resultado que se espera que sea entregado. Existen también las **Funciones Secundarias**, las cuales son adicionales o complementarias a la función primaria, estas consisten en todas aquellas características asociadas a variables que no están

directamente relacionadas a la operación del equipo. Estas características están asociadas en la mayoría de los casos a los siguientes ámbitos:

- Seguridad
- Integridad Estructural
- Integridad ambiental
- Protección contra fallas
- Economía-eficiencia-rentabilidad
- Control-contención-confort
- Aspecto

La descripción de una función se debe realizar mediante la siguiente estructura: [24]

- Verbo. Ej. “Impulsar”
- Objeto. Ej. “Agua”
- Parámetro de funcionamiento deseado. Ej. Desde el tanque x al Y con caudal de 800 l/min

3.4.2. Definir las fallas funcionales.

La falla funcional ocurre cuando el activo deja de cumplir una función determinada, o este es incapaz de hacer lo que el usuario espera de él. Bajo esta línea se puede tener:

- **Falla Total:** el activo no cumple una de sus funciones completamente
- **Falla Parcial:** el activo cumple deficientemente algunas de sus funciones. Pueden existir diferentes fallas parciales dependiendo de un grado de discrepancia de los estándares requeridos o, sus consecuencias. [24]

3.4.3. Determinación de los Modos de Falla.

Los Modos de Fallas corresponden a todos los hechos que pueden haber causado una falla funcional, es decir, son todas las posibles formas que un componente puede fallar [22], por ejemplo:

- Por vejez: corrosión, fatiga, etc.
- Por condiciones de operación: automática, manual, etc.
- Por clase de operación: prematura, tardía, deformación excesiva, etc.

3.4.3.1. Identificación de los Modos de Fallas.

Se deben identificar los Modos de Fallas razonablemente probables. El término razonable hace referencia a que sea creíble, esta credibilidad se debe confrontar con las consecuencias del Modo de Falla. [24]

Los modos se pueden definir por niveles de causalidad ó árboles de fallas (herramienta que será analizada de forma independiente) y deben incluir:

- los Modos de Fallas históricos
- Modos de Falla que podrían aplicar debido a las horas de operación
- Modos de fallas que estén siendo prevenidos

3.4.3.2. Tipo de Modo de Falla.

Según la norma a la que se quiera adherir (ISO, SAE), se identifican la naturaleza de Modos de Falla. En este informe se referirá exclusivamente a la norma SAE JA 1011 que indica:

- Deterioro producido por el uso del activo (Desgaste, fatiga, corrosión)
- Diseño incorrecto
- Errores humanos causados por operadores o mantenedores
- Sobrecarga (incorrecta operación, incorrecto montaje, daños producidos por agentes externos)

3.4.4. Efectos de falla.

Para definir los efectos de falla se debe responder a la pregunta: ¿Qué pasa cuando cada Modo de Falla ocurre? La respuesta considera la especificación de los hechos desencadenados por la ocurrencia de la falla. No se debe confundir con las consecuencias. Los efectos se determinan considerando que no se realiza ninguna

acción proactiva para impedir la ocurrencia de la falla, a esto se le denomina ***Hipótesis Básica***. [16]

3.4.4.1. Información requerida por la Norma SAE JA1011.

La información obligada por la norma, respecto a los efectos para evaluar las consecuencias son las siguientes:

- Existencia de evidencias de la ocurrencia de la falla (alarmas, luces, ruidos, humo, etc.)
- Determinación de los efectos sobre la seguridad y el medio ambiente
- Efectos sobre la producción y las operaciones (Down time, calidad, etc.)
- Existencia de daños sobre los activos
- Cuantificación y/o determinación de las medidas correctivas
- Acciones correctivas

3.5. Consecuencias de la falla.

Las consecuencias se diferencian de los efectos ya que las primeras responden a la pregunta ¿Qué importancia tiene la ocurrencia de la falla?. Las consecuencias de cada Modo de Falla debe ser formalmente clasificadas, y estas pueden ser clasificadas:

- Según la evidencia de ocurrencia: evidente u ocultas;
- Según aspecto afectado (S-E-O-NO): Seguridad, medioambiente, operación, mantenimiento.

Para hacer que el análisis de riesgo de falla se pueda cuantificar para que permita que sea comparable, se establecen los parámetros de riesgo D, O, S [24], los cuales se describen en los párrafos siguientes.

3.5.1. Parámetro D (detectabilidad de fallas).

Hace referencia a la probabilidad de que el Modo de Falla sea detectado en un equipo o sistema. La Tabla 2 muestra el índice de Detectabilidad

Tabla 2. Detectabilidad - Instrumentación y Control [Fuente: Manual de Confiabilidad Andesgroup]

Índice	Rango	Descripción
1	casi seguro	El sistema de control detectará con certeza absoluta la causa potencial del incidente o del Modo de Falla
2	muy alto	El sistema de control la causa potencial del incidente o del Modo de Falla
3	alto	Existe instrumentación que permite detectar la causa potencial del incidente o del Modo de Falla
4	moderadamente alto	Existe una inspección del equipo con una frecuencia igual o superior a una vez por turno
5	moderado	Existe una inspección del equipo con una frecuencia igual o superior a una vez por día
6	Bajo	Existe una inspección del equipo con una frecuencia igual o superior a una vez por semana
7	muy bajo	Existe una inspección del equipo con una frecuencia del 25% de la frecuencia de la falla
8	alejado	Existe una inspección del equipo con una frecuencia del 50% de la frecuencia de la falla
9	muy alejado	Existe una inspección del equipo con una frecuencia del 75% de la frecuencia de la falla
10	incertidumbre absoluta	No existe instrumentación ni revisión periódica de variables que permitan detecta la causa potencia del Modo de Falla

3.5.2. Parámetro O (ocurrencia de fallas).

Es la probabilidad de que una causa específica se produzca y dé lugar a un Modo de Falla. La probabilidad puede ser definida con datos históricos fiables o mediante un modelamiento matemático. En la Tabla 3 se muestra la ponderación y el índice de ocurrencia con la probabilidad de ocurrencia. [16]

Tabla 3. Parámetro de Ocurrencia [Fuente: Manual de Confiabilidad Andesgroup]

Índice	Rango	Probabilidad	Descripción
1	Remota	1/100000	El incidente es inverosímil; fallas imposibles de ocurrir. No se espera que ocurra la falla
2	Baja	1/50000	Probabilidad muy baja
3	Baja	1/20000	Probabilidad muy baja
4	moderada	1/10000	Probabilidad de falla ocasional
5	moderada	1/5000	Fallas ocasionales
6	moderada	1/2000	Fallas ocasionales
7	Alta	1/1000	Incidentes repetitivos
8	Alta	1/500	Fallas frecuentes
9	muy alta	1/200	Fallas persistentes
10	muy alta	>1/100	Incidente inevitable

3.5.3. Parámetro S (Severidad de Fallas).

Este índice da cuenta de los efectos del Modo de Falla, valorando el nivel de las consecuencias sentidas por el cliente, basadas únicamente en los efectos de la falla. El valor del índice varía en función del:

- Impacto de las consecuencias en la seguridad de las personas
- Impacto de las consecuencias sobre el medio ambiente
- Impacto de las consecuencias sobre la producción
- Impacto de las consecuencias en el tiempo de reparación
- Impacto de las consecuencias sobre el costo de reparación

Se ha desarrollado el cálculo de “s” mediante un factor de ponderación. Estos factores se presentan en su totalidad en las Tablas 4, 5, 6, 7 y 8.[16]

Tabla 4. Parámetros para la obtención del valor de S1 [Fuente: Manual de Confiabilidad Andesgroup]

Impacto sobre la seguridad de las personas (S1)		
Índice	Rango	Descripción
1 , 2	Leve	Una falla resulta en un daño menor al sistema, No ocasiona daños al personal.
3 , 4	Menor	La falla tiene como consecuencia heridas menores al personal
5 , 6	Mayor	La falla tiene como consecuencia heridas mayores al personal
7 , 8	Crítico	Existe una inspección del equipo con una frecuencia del 25% de la frecuencia de la falla
9 , 10	Catastrófico	Existe una inspección del equipo con una frecuencia del 75% de la frecuencia de la falla

Tabla 5. Parámetros para la obtención del valor de S2 [Fuente: Manual de Confiabilidad Andesgroup]

Impacto sobre el medio ambiente (S2)		
Índice	Rango	Descripción
1 , 2	Leve	Una falla resulta en un daño menor al sistema, No ocasiona daños al MA
3 , 4	Menor	La falla resulta en una exposición de bajo nivel o bien activa una alarma de la instalación
5 , 6	Mayor	La falla tiene como consecuencia la liberación de sustancias perjudiciales al MA. El que puede auto recuperarse
7 , 8	Crítico	Los daños al MA son reversibles mediante actividades de mitigación posteriores
9 , 10	Catastrófico	Una falla con daños permanentes o de recuperación prolongadas

Tabla 6. Parámetros para la obtención del valor de S3 [Fuente: Manual de Confiabilidad Andesgroup]

Impacto sobre la producción (S3)		
Índice	Rango	Descripción
1 , 2	Leve	No afecta la producción
3 , 4	Menor	25% de impacto
5 , 6	Mayor	50% de impacto
7 , 8	Crítico	75% de impacto
9 , 10	Catastrófico	Se detiene la producción

Tabla 7. Parámetros para la obtención del valor de S4 [Fuente: Manual de Confiabilidad Andesgroup]

Impacto sobre el tiempo de reparación (S4)		
Índice	Rango	Descripción
1 , 2	Leve	Menos de una hora
3 , 4	Menor	Entre 1-3 horas
5 , 6	Mayor	Entre 4-8 horas
7 , 8	Crítico	Entre 9-16 horas
9 , 10	Catastrófico	Entre 17-24 horas

Tabla 8. Parámetros para la obtención del valor de S5 [Fuente: Manual de Confiabilidad Andesgroup]

Impacto sobre los costos de reparación (S5)		
Índice	Rango	Descripción
1 , 2	Leve	menos de US\$2000
3 , 4	Menor	Entre US\$2000 y US\$10000
5 , 6	Mayor	Entre US\$10000 y US\$25000
7 , 8	Crítico	Entre US\$25000 y US\$50000
9 , 10	Catastrófico	más de US\$50000

Calculo de la severidad de falla entonces queda determinada por:

$$S = \sum_{i=1}^n \mu_i * S_i \quad (26)$$

$$\sum_{i=1}^n \mu_i = 1 \quad (27)$$

Donde

S_i : factor que representa cada uno de los efectos sobre los diferentes aspectos del negocio

μ_i : factor de ponderación de cada uno de los aspectos considerados (generalmente designados por la compañía)

3.5.4. Determinación del número de prioridad de riesgo (RPN).

El RPN corresponde al producto de la probabilidad de detectabilidad, ocurrencia y severidad

$$RPN = D * O * S \quad (28)$$

El valor que adquiere el RPN, en la Ecuación 28, debe ser comparado con la Tabla 9, a fin de establecer el índice de riesgo de cada Modo de Falla.

Tabla 9. Riesgo asociado a los valores del RPN obtenido [Fuente: Manual de Confiabilidad Andesgroup]

RPN Individuales	
Índice	Riesgo
(0,100]	Muy bajo
(100,150]	Bajo
(150,250]	Medio
(250,450]	Alto
(450,1000]	Muy alto

Finalmente, se calcula el índice de riesgo global del sistema o equipo mediante la Ecuación 29, que se muestra a continuación:

$$RPN = \sum_{i=1}^n RPN_i \quad (29)$$

3.6. Árbol de Falla (AAF).

Esta sección presenta las definiciones, los elementos conceptuales y lógicos del método deductivo del Análisis de Árbol de Falla. Este análisis es clave para conocer las causas raíces de los Modos de Fallas del Sistema de P&R determinados por el AMEF.

3.6.1. Definición.

El AAF puede ser simplemente descrito como una técnica analítica resolución de fallas. La metodología comienza cuando un estado indeseado (falla) de un sistema es especificado (usualmente con un estado que es crítico dentro de la configuración de sistemas analizado) , entonces este sistema es analizado en el contexto de su ambiente y operación para encontrar todas las maneras creíbles en las cuales el evento no deseado puede ocurrir

El Árbol de Falla es en sí mismo un modelo gráfico de varias combinaciones paralelas y secuenciales de fallas que resultan en la ocurrencia de un evento no deseado. Las fallas pueden ser eventos que son asociados a fallas de componentes, errores humanos, o cualquier otro evento pertinente los cuales pueden llevar al evento no deseado.

Es importante entender que el Árbol de Fallas no es un modelo de todas las posibles fallas o posibles causas para la falla de un sistema. El Árbol de Fallas está adaptado en base al evento superior, el cual corresponde a algún Modo de Falla en particular, por lo que sólo incluye aquellas fallas que contribuyen a este evento superior.

Además, aquellas fallas no son todas las fallas, sino las que se consideren más creíbles para quien realiza el análisis.


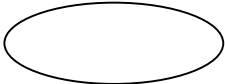
Un Árbol de Fallas está construido por entidades conocidas como puertas las cuales permiten o no, pasar una situación de lógica. Las puertas muestran las relaciones de eventos requeridos por la ocurrencia de un evento superior. El evento superior es la salida de la puerta y el evento inferior es la entrada de la puerta, por lo tanto, las puertas funcionan como un interruptor eléctrico en un circuito. [17]

3.6.2. Simbología

El Árbol de Fallas normalmente está compuesto de un número de símbolos, los cuales se describen en los apartados siguientes.

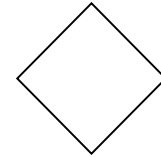
3.6.2.1. Eventos Primarios

Son aquellos eventos que por una razón u otra, no han sido desarrollados más allá. Son los eventos para los cuales las probabilidades de ocurrencia tendrán que ser proporcionadas si el Árbol de Fallas es usado para el cálculo de la probabilidad de ocurrencia del evento superior (no deseado). Hay cuatro tipos de eventos primarios, estos son [17]:

Evento Básico:	Un evento de falla inicial básico que no requiere mayor desarrollo	
Evento condición:	Especifica condiciones o restricciones para alguna puerta lógica (usado primariamente con la puerta “AND” e “INHIBIT”	

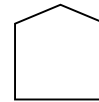
Describe un evento de falla específico que no tiene un desarrollo más allá.

Evento no desarrollado: También porque el evento es de escaso resultado o porque la información relevante al evento no está disponible



Es un evento el cual normalmente es esperado que ocurra. Lo que no representa por lo tanto una falla en sí.

Evento externo:



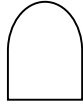
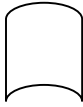
3.6.2.2. Eventos intermedios

Un evento intermedio es un evento de falla que se produce porque una o más causas antecedentes actúan a través de una puerta lógica. Todos los eventos intermedios son simbolizados por rectángulos. [17]



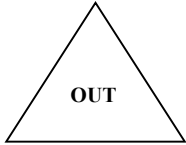
3.6.2.3. Puertas

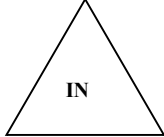
Hay dos tipos básicos de puertas de Árbol de Falla: puerta “OR” y puerta “AND”. Todas las demás puertas son realmente casos especiales de estos dos tipos básicos. Tienen una diferencia, las puertas son simbolizadas por un escudo con una base plana o curva.

AND:	Falla de salida ocurre si todos las fallas de salida ocurren	
OR:	La falla de salida ocurre si al menos una de las fallas de entradas ocurre.	

3.6.2.4. Símbolos de transferencia

Los símbolos introducidos son triángulos y son usados de manera conveniente para evitar frecuentes duplicaciones en un *Árbol de Fallas* [17].

Transferencia IN	Este símbolo junta una puerta que enlazaré la correspondiente transferencia “OUT”	
-------------------------	---	--

Transferencia OUT	Esta transferencia “OUT”, es referencia a la transferencia “IN” descrita anteriormente. En el fondo desarrolla la idea que se transfiere desde la transferencia IN	
--------------------------	--	---

3.6.3. Fundamentos sobre la construcción de un *Árbol de Falla*.

En los párrafos siguientes se dan a conocer los conceptos y alcances asociados a la construcción de *árboles de falla*.

Primero, se debe aclarar la diferencia entre *failure* = error y *fault* = falla, los errores son sucesos anormales básicos, mientras que las fallas son eventos de orden más alto. La falla requiere la especificación, no sólo de cuál es el estado del componente indeseado, sino también de cuándo se produce.

Por otro lado, una falla puede ser reparable o no, dependiendo de la naturaleza del sistema. Si un sistema no es reparable, la falla que se produce seguirá existiendo; en el caso contrario hay que aclarar entre la ocurrencia y la existencia de una falla. Esta distinción es sólo de importancia en la cuantificación del Árbol de Falla. Desde el punto de vista de la construcción de un árbol de falla es necesario preocuparse solo de las causas de ocurrencia, lo que equivale a considerar todos los sistemas como no reparables

Un aspecto conveniente de separar, es el tipo de componentes, estos se pueden clasificar en componentes pasivos y componentes activos. Los primeros, contribuyen de una forma estática a la funcionalidad del sistema; tal como lo hace un transmisor de energía de un lugar a otro (ej. Tuberías, rodamientos, soldaduras, etc.). Los componentes activos, contribuyen de una manera más dinámica al funcionamiento del sistema matriz, por ejemplo, una válvula que abre y cierra modificando el flujo del fluido. [17]

El último paso de la metodología de AAF, es determinar el comportamiento de las fallas, éstas pueden ser primarias, secundarias y de comando. Las fallas primarias son aquellas que se producen dentro de las condiciones para las cuales fue diseñado a diferencia de las fallas funcionales que se producen fuera del ambiente en las que se han diseñado. Las fallas de comando envuelven la propia operación de un componente pero en el momento equivocado y/o en el lugar ocupado.

Los conceptos fundamentales que gobiernan la construcción de los Árboles de Fallas, implican que un sistema es la estructura en general que está siendo considerada, la cual a la vez consiste en estructuras subordinadas llamadas “subsistemas”, los cuales a la vez están compuestos de bloques básicos llamados “componentes”. En la construcción de un Árbol de Falla, los conceptos básicos de efectos de fallas, Modos

de Fallas, y mecanismos de falla son importantes determinando las interrelaciones adecuadas entre los eventos. Los mecanismos de fallas producen Modos de Fallas, los cuales, a la vez, tienen ciertos efectos sobre el sistema de operación. [17]

3.6.4. Reglas básicas de construcción de un árbol de falla.

El manual de AAF, utilizado como soporte de esta metodología, establece algunas reglas básicas que permite realizar un árbol de falla metódicamente y realizarlo con las mejores prácticas [17]. Estas reglas se describen a continuación:

Regla n°1: Escribir las declaraciones que se consignan en las cajas como fallas, establecer precisamente qué falla es y cuándo se produce.

Regla n°2: Si la respuesta a la pregunta ¿Puede esta falla consistir de un error del componente? es “sí”, se clasifica el evento como una “declaración de falla del componente”. Si la respuesta es negativa, se clasifica el evento como una declaración de un sistema de falla.

Regla n°3 (Regla de no milagros): Si el normal funcionamiento de un componente propaga una secuencia de falla, entonces se asume que el componente funciona normal.

Regla n°4 (Regla de Completar la Puerta): Todas las entradas a una puerta en particular deberían ser completamente definidas, antes de que un análisis adicional de alguna de ella sea desarrollada.

Regla n°5 (Regla de No puerta a puerta): Las entradas de las puertas deberían ser eventos de fallas apropiadamente definidas, y puertas deberían no estar directamente conectadas a otras puertas.

Finalmente el proceso de construcción de árboles de fallas se lleve a cabo bajo la siguiente estructura secuencial. [17]

1. Definir el evento superior.
2. Conocer el sistema.

3. Construir el árbol.
4. Validar el árbol.
5. Evaluar el árbol.
6. Considerar cambios constructivos.
7. Considerar alternativas y recomiende medidas.

3.6.5. Ventajas de utilizar y combinar el AAF con AMEF

El AAF junto con el AMEF generalmente son combinados para aplicaciones de seguridad y mantenimiento de equipos mecánicos, y como piezas fundamentales de un MCC. Entre los diversos beneficios de usarlo en combinación, se destacan las siguientes:

- Los AAF analizan la forma de alcanzar el evento máximo o las causas raíces, y los AMEF analizan al evento desde sus eventos básicos, la combinación de técnicas deductivas e inductivas facilitan el entendimiento y mejoramiento de los sistemas
- Los AAF ofrecen un enfoque general del problema y sus secuencias de falla y los AMEF un enfoque particular de la falla de los componentes.

Adicionalmente, existen las siguientes consistencias entre las dos técnicas:

1. Cualquier identificación de una falla derivado de un AMEF tiene que ver con el evento máximo en un AAF, y esta identificación es tomada como un punto singular de falla, o mejor dicho, un Modo de Falla.

3.7. Gestión de fallas.

Una vez realizado el AMEF, se tiene pleno conocimiento de los Modos de Fallas, sus causas raíces, efectos y consecuencias. El MCC involucra un último paso que tiene relación a cómo prevenir o minimizar las consecuencias de los Modos de Fallas detectados. Para ello, el MCC presenta dos preguntas adicionales:

1. ¿Qué acciones se pueden realizar para prevenir la falla?
2. ¿Qué se puede hacer cuando no se encuentra una acción proactiva que permita prevenir la falla?

3.7.1. Tareas proactivas.

Gracias al AMEF se obtienen los Modos de Fallas que debido a su importancia son necesarios analizar para intentar prevenirlos. El MCC reconoce tres categorías de tareas proactivas: las tareas de reacondicionamiento cíclicas, tareas de sustituciones cíclicas y las tareas a condición.

Cada una de estas tareas es aplicada a partir de un análisis previo que consiste en el estudio de la denominada la curva P-F (Figura 27) de cada Modo de Falla. Este estudio consiste en analizar el período en que se hace perceptible que se está produciendo una falla (falla potencial) y el tiempo en el que la falla se produce.

Si este intervalo (intervalo P-F) es demasiado corto y no se poseen condiciones que indiquen una presencia de falla, no es posible realizar una tarea preventiva a condición, quedando la posibilidad de realizar una sustitución o reacondicionamiento a intervalos regulares y antes de que alcance su límite de edad. En cambio, si la falla presenta ciertas condiciones que señalan un mal funcionamiento o la existencia de una falla, se puede obtener una gama de tareas que se realicen a intervalos regulares con el objetivo de detectar este comportamiento, siempre y cuando el intervalo P-F lo permita. [16]

Si las fallas se relacionan con la edad del elemento se pueden realizar tareas cíclicas de reacondicionamiento de éste elemento a intervalos regulares y antes de que alcance su límite de edad; ó como se mencionó anteriormente, tareas de sustitución cíclicas. [16]

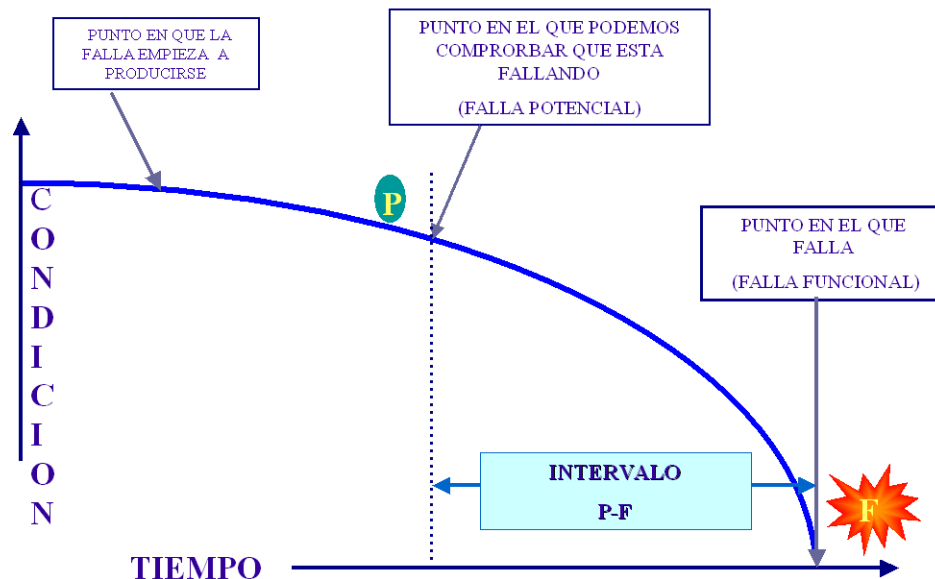


Figura 26. Curvas P-F [Curso RCM, emisión 03 de septiembre de 2012, Otto Stier. Santiago]

La curva P-F se presenta en la Figura 26 con el objetivo de aclarar el concepto de las tareas proactivas consideradas por el mantenimiento centrado en confiabilidad, destacando que la realización de cada una de ellas debe ser respaldada por el análisis de la factibilidad económica, es decir, si el hecho de llevar a cabo una tarea proactiva en cuanto a costos, es menor que los costos de la reparación de la falla en cuestión. Si esto no sucede no presenta ningún beneficio para la organización. [16]

3.7.2. Acciones “A falta de”.

Éstas son las acciones que se realizan en aquellos Modos de Fallas a los cuales no se les hace factible la realización de una tarea proactiva. Estas acciones pueden ser: la búsqueda de fallas (revisiones periódicas de las funciones de los componentes que poseen funciones que si fallan incurrir en fallas ocultas); rediseñar (incluir cambios en el diseño original del activo, debido a que sus consecuencias operacionales o al

medio ambiente como a la seguridad son insostenibles); y ningún mantenimiento programado (sólo se cambian o reparan los activos cuando éstos fallan).

Todos los conceptos e interrogantes que plantea el RCM, desde la contextualización pasando por el AMEF, AAF y la gestión de fallas se deben trabajar con un equipo multidisciplinario de personas relacionadas directamente con el activo en cuestión, debido a que estos interrogantes pueden ser respondidos de una manera más completa por quienes trabajan directamente con el sistema, se habla por lo tanto de mecánicos, eléctricos, planificador, operador y un técnico especialista; todos ellos guiados por el facilitador que se encarga de organizar la reunión y que debe ser pleno conocedor de la metodología MCC, como se ejemplifica en la Figura 28 sobre la formación de un grupo de análisis. [16]

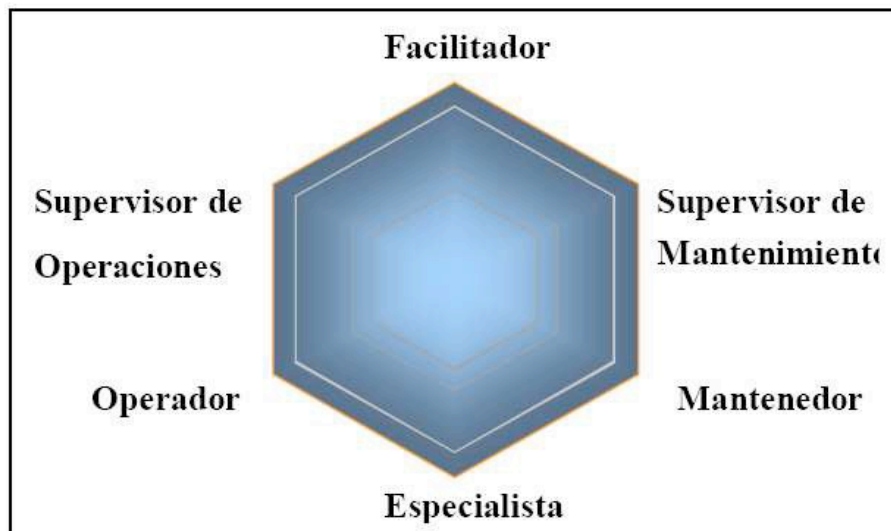


Figura 27. Grupo de Análisis del MCC [Fuente: Curso RCM, emisión 03 de septiembre de 2012, Otto Stier. Santiago]

El resultado del trabajo del grupo de análisis del mantenimiento centrado en confiabilidad es la hoja de información de MCC y la hoja de decisión de MCC. La primera responde y registra las respuestas a las cuatro primeras preguntas fundamentales de la metodología, asociadas a la detección de Modos de Fallas, o mejor dicho, la realización del AMEF. La segunda hoja, responde al registro de las consecuencias y ponderación que se hace de estas. Finalmente se lleva a cabo la hoja del RCM y registra las respuestas a las dos últimas preguntas del mantenimiento centrado en confiabilidad, obteniéndose de esta manera una estrategia de mantenimiento para cada Modo de Falla en análisis. El llenado de esta última hoja, se basa en seguir un formato de preguntas entregados por el Diagrama de Decisión del MCC establecido en el Anexo 11. En la Figura 29 se muestra una simplificación del esquema lógico descrito en el diagrama de decisión del MCC.

Finalmente, una vez descrito cada paso de la metodología del MCC, cuando se termina este análisis e implementa esta metodología se podrían obtener los siguientes beneficios:

- Generar sinergias comunicacionales entre el personal de mantención y operaciones.
- Estrategias de mantención para cada tipo de falla que se presenta en los sistemas de manera frecuente.
- Con el conocimiento y habilidad de cada componente del grupo se logra analizar de mejor forma las fallas potenciales de los equipos; los esfuerzos individuales no conducen a nada.
- Se logra realizar un mejor análisis de cada uno de los componentes del equipo, ya que se encuentra con personal altamente calificado y conocedor de éste.
- Se logra detectar fallas antes de que ocurran, porque se involucran a nuevos estamentos al trabajo, como es el área de inspección sintomática, entre otros.

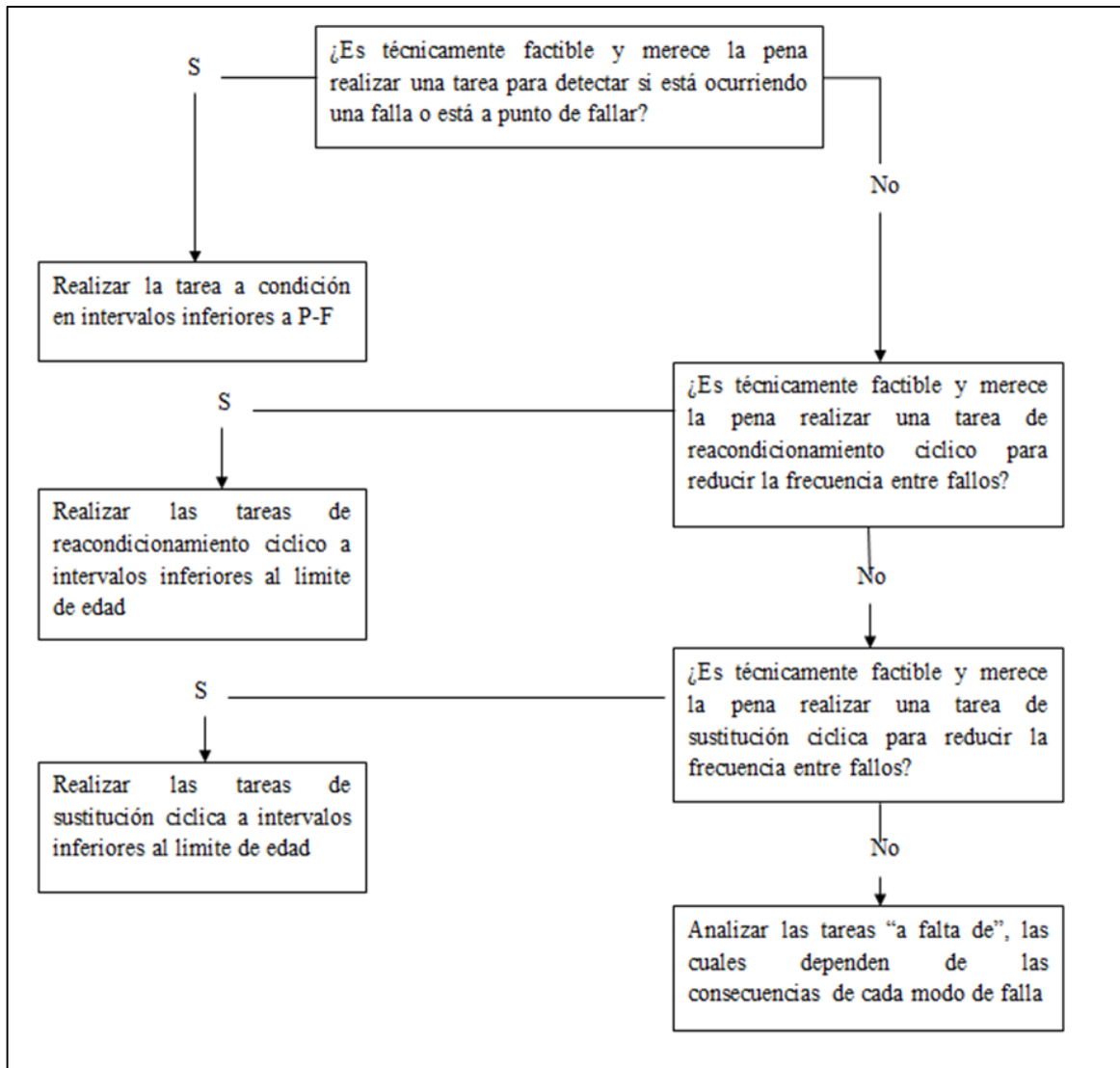


Figura 28. Árbol de decisión de Actividades Proactivas (simplificado) [Curso RCM, emisión 03 de septiembre de 2012, Otto Stier. Santiago]

4. Caracterización general de desempeño del Sistema de Propulsión y Rodado en Perforadora PV351.

El desarrollo del trabajo comienza con la justificación sobre la elección del Sistema de Propulsión y Rodado como componente crítico, mediante la recolección, análisis de datos de fallas y detenciones de la perforadora N°18 de CMDIC, modelo PV351, para establecer un panorama actual de la gestión del mantenimiento del equipo. Posteriormente se aplica la metodología del MCC al sistema seleccionado con el fin de determinar estrategias de mantenimiento y un Análisis de Árbol de Falla para conocer y poder atender las causas raíces de los Modos de Falla del sistema seleccionado.

El plan de trabajo a seguir está enfocado al cumplimiento de los objetivos definido. Se sigue por lo tanto, la secuencia lógica en que se han planteado dichas metas.

En primer lugar, se realiza un diagnóstico sobre el desempeño del equipo, se establece el tipo de criticidad del Sistema de Propulsión y Rodado, posteriormente, se realiza un análisis funcional del sistema crítico. Luego, se da comienzo al AMEF y AAF. Y con los resultados de ambas metodologías como antecedentes, se desarrolla la Hoja de MCC en donde se plasman las estrategias de mantenimiento.. Finalmente, a pesar de ser parte de la gestión de falla del MCC se presentan en un Capítulo aparte, las propuestas de mejoras en el diseño que permitan mitigar los problemas en los componentes críticos.

4.1. Índices e indicadores de desempeño de perforadora 18.

Para poder establecer una línea base respecto al desempeño de la perforadora PV351, se deben obtener algunos índices e indicadores asociados a la confiabilidad y a la mantenibilidad. Los indicadores de desempeño se basan en la información obtenida de las detenciones y tiempos involucrados en cada falla. Se ha caracterizado cada

variable en indicadores medibles y comparables, de esta forma poder conocer cuál es el comportamiento de cada sistema.

En esta sección se analiza la información histórica extraída de la base de datos del Sistema de Gestión de Mantenimiento Mina (SIGEMM), con el fin de obtener parámetros de mantenimiento y Modos de Falla que permitan encontrar las causas raíces que respondan a los problemas de disponibilidad del equipo. Debido al cambio en el sistema de registro de fallas, sólo se tiene una fuente continua y confiable de información **a partir del 1 de septiembre del 2012 hasta el 31 de Junio del 2013**, el cual es el periodo objetivo del estudio.

4.1.1. Índices de fallas en los sistemas del equipo.

Los tipos de detenciones considerados en este estudio, son todas aquellas detenciones debidas a fallas no programadas del equipo, tanto mecánicas, eléctricas, de lubricación y estructurales. No se considera como fallas, las detenciones por mantenimiento programada, tampoco las que se deben a interrupciones operacionales (Mal clima, eventos de trabajadores, etc.)

El número de detenciones del equipo y el tiempo de duración de cada detención, son extraídos directamente de la base de datos de SIGEMM, mediante la agrupación por sistema principales. La Tabla 10 presenta indicadores de cantidad y tiempo de detenciones en forma acumulada y agrupada por sistemas. Cuando se hace referencia a agrupar las detenciones por sistema principales, se refiere a que las fallas han tenido su origen en dichos sistemas, o se relacionan directamente con estos.

Se utiliza como sinónimo el número, cantidad o frecuencia de detenciones. Lo mismo con el tiempo acumulado, fuera de servicio, tiempo de detención acumulado o tiempo de no disponibilidad que haciendo correspondencia al mismo concepto.

Para dar comienzo al análisis de detenciones, se presenta en la Tabla 10 la frecuencia y tiempo acumulado total de las detenciones en cada sistema principal, indicadores

que sirven como base de todos los índices e indicadores utilizados en el desarrollo del trabajo.

Tabla 10. Cantidad y tiempo acumulados de detenciones por sistemas principales PO 18
[Fuente: Elaboración Propia]

Sistema	Número de detenciones	Tiempo de detención acumulado
Auxiliares	45	392,07
Cabina Operador	3	3,08
Compresor	23	199,57
Estructura Mástil	8	34,83
Externa	23	164,83
Motores Diésel	19	105,73
Propulsión y Rodado	81	703,28
Sistema de – Rotación	10	67,63
Sistemas Hidráulico	25	160,52

Mediante un diagrama de Pareto se puede ordenar ambos índices, con el fin de visualizar qué sistemas son más propensos a fallas, y cuáles son los comportamientos con respecto al tiempo detenido.

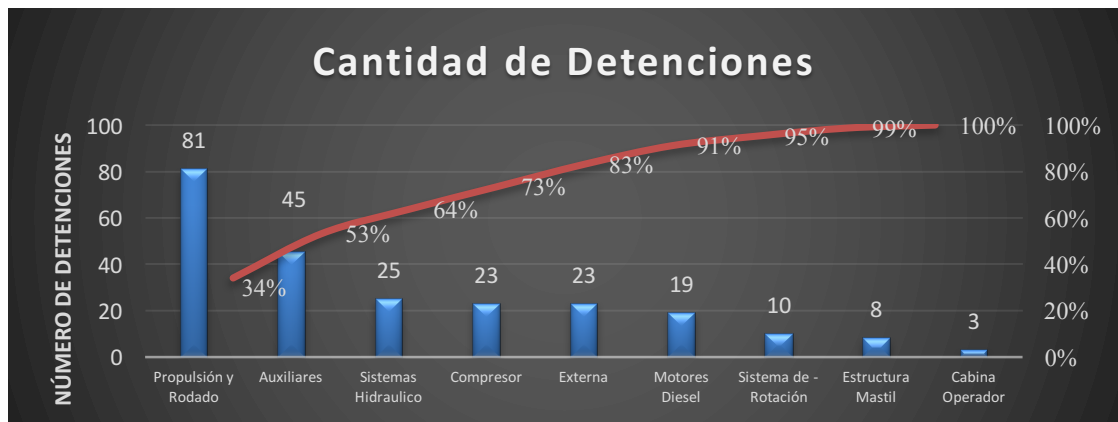


Figura 29. Gráfico de Pareto del número de detenciones por sistemas [Fuente: Elaboración propia]

De la Figura 29 se desprende que el 73 % de las detenciones de la perforadora PV351 se han originado jerárquicamente en los siguientes sistemas:

1. Propulsión y Rodado
2. Auxiliares
3. Sistemas hidráulicos
4. Compresor

El Sistema de Propulsión presenta un alto número de detenciones, muy por encima de los demás sistemas. Esta situación converge con la afirmación presentada en la Introducción que lo señala cómo un sistema de baja confiabilidad.

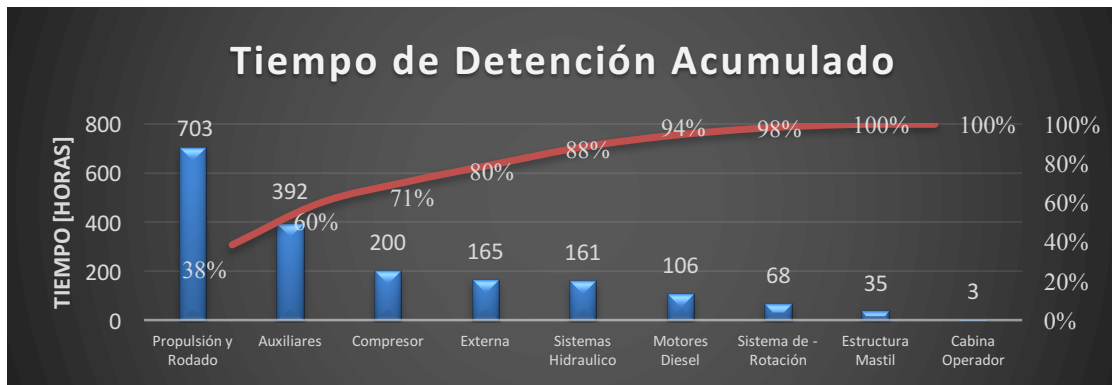


Figura 30. Tiempo fuera de servicio acumulado, agrupado por sistemas [Fuente: Elaboración propia]

Con respecto al tiempo fuera de servicio que ha tenido la perforadora en los diferentes sistemas, en la Figura 30 se aprecia que el 80% de este tiempo se ha debido a fallas en los sistemas:

1. Propulsión y Rodado
2. Auxiliares
3. Compresor
4. Externo

Los datos anteriormente mostrados, permiten interpretar en qué sistemas de la perforadora se están concentrando las fallas, así como cuáles se llevan la mayor cantidad del tiempo detenido. Estos datos permiten establecer que por número de

detenciones y tiempos de duración de estas fallas el sistema que más problemas presenta es el Sistema de Propulsión y Rodado.

4.1.2. Indicadores de la gestión del mantenimiento del equipo.

Es también de mucha relevancia para caracterizar cómo se está desarrollando la gestión de mantenimiento en el equipo, definir su tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio que toma reparar una falla (MTTR).

La Figura 31 en escala logarítmica, muestra los indicadores de MTBF y MTTR, obtenidos para la perforadora PV351 durante el periodo de estudio definido en el comienzo de este capítulo

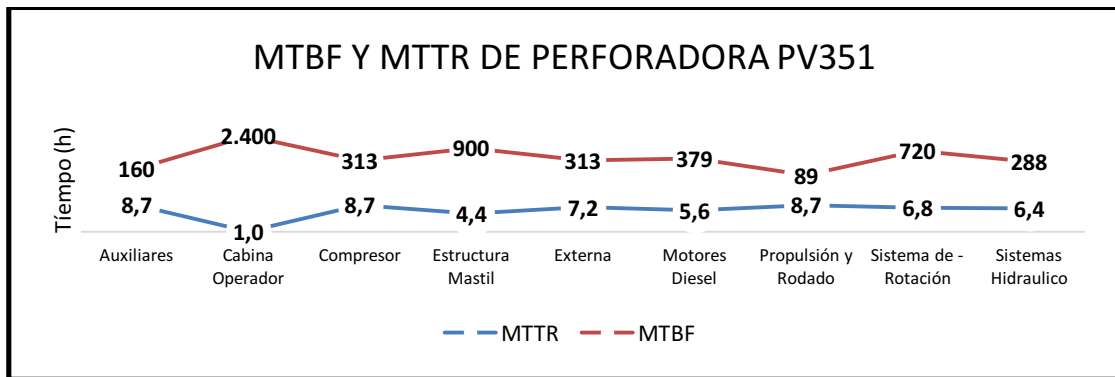


Figura 31. Indicadores de disponibilidad (MTBF) y mantenibilidad (MTTR) por sistemas de la perforadora PV351 [Fuente: Elaboración Propia]

Como se observa en la Figura 31, el Sistema de Propulsión y Rodado presenta el menor MTBF. Por otro lado el mayor MTTR se adjudican al sistema del compresor, auxiliar y nuevamente de rodado, todos alrededor de 8,7 horas de tiempo medio de reparación. Este hecho actualmente es un problema para la compañía ya que ha visto aumentada el tiempo de imprevisto del equipo, no cumpliendo el 80/20 del tiempo de mantenimiento planificado versus las reparaciones no programadas, que es el parámetro utilizado por la SI de planificación de Perforadoras de la GMM.

Se determina que la frecuencia de funcionamiento presenta un tiempo promedio de buen funcionamiento bajo de 89 horas en el periodo objetivo, siendo el peor comportamiento en comparación con los otros sistemas. Por otro lado el tiempo promedio de reparación es el mayor, indicando que en promedio de utilizan 8,9 horas cronológicas para realizar una reparación.

4.1.3. Disponibilidad.

El objetivo de la Gerencia de Mantenimiento es asegurar la disponibilidad de los equipos, por ende, un antecedente que se debe conocer, es el comportamiento de la flota y la perforadora bajo estudio. A continuación, se analiza la incidencia de las disponibilidades individuales de cada sistema a la disponibilidad global del equipo.

4.1.3.1. Disponibilidad de flota.

En primera instancia se establece el comportamiento de la disponibilidad durante doce meses, en el periodo comprendido entre Julio de 2012 y Junio de 2013. En la Figura 32, se observa la disponibilidad física y el *Budget* de disponibilidad esperada para el mismo periodo para la flota en estudio. Esta disponibilidad se calcula en base al tiempo de producción (equipo operando) más el tiempo de detenciones operacionales de los dos equipos que conforman la flota de perforadoras Atlas Copco, correspondiente a una perforadora PV251 (Perforadora N°17) y una perforadora PV351 (Perforadora N°18).

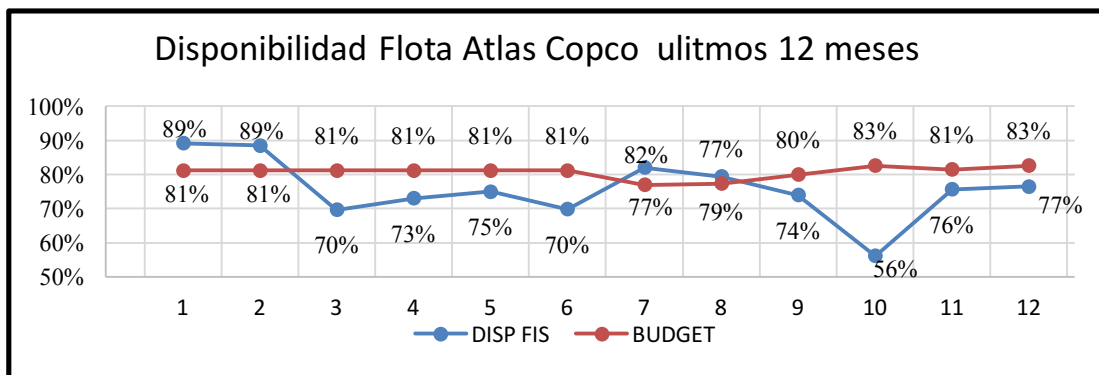


Figura 32. Disponibilidad Flota Atlas Copco [Fuente: Elaboración Propia]

De la Figura 32 se infiere que no se están cumpliendo las metas establecidas en el *Budget* de disponibilidad de la flota de perforadoras, debido a que la media de disponibilidad real ha sido de un 75,60 % bajo el 80,65% de disponibilidad media que se declara en el Budget. Por otro lado, se observa una fuerte caída de disponibilidad el mes 10 que corresponde a marzo del 2013. Esta situación crea un problema al **área operativa y por ende a la producción**, ya que **complica alcanzar las metas de producción**. Se muestra en la Figura 34 el desempeño de los equipo de la flota Atlas.

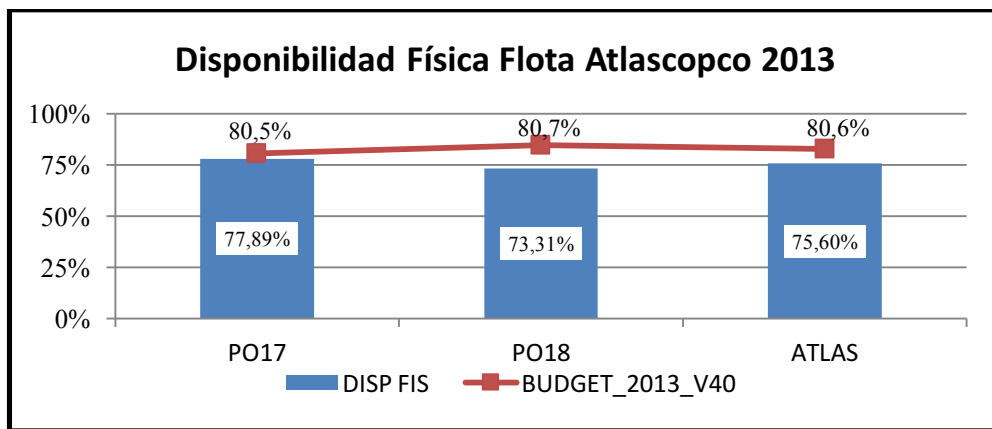


Figura 33. Disponibilidad física Flota Atlas Copco 2013 [Fuente: Elaboración Propia]

Se aprecia en la Figura 33 que la disponibilidad durante el período objetivo (12 meses desde el 1 de Julio del 2012) de la perforadora 18 está por debajo del *Budget* por 7,4 puntos de diferencia, lo que inmediatamente indica que no se está cumpliendo con el desempeño que la gerencia espera de este equipo.

4.1.3.2. Disponibilidad de sistemas.

Previo al cálculo de disponibilidad, gracias a los datos que se muestran en la Figura 31, hay que establecer que los sistemas mencionados de la perforadora PV351 (Perforadora N°18), se encuentran en serie, debido a que son sistemas principales; lo que implica que la falla de cualquiera de ellos imposibilitan la operación de la perforadora. El diagrama lógico de esta configuración se muestra en la Figura 35.

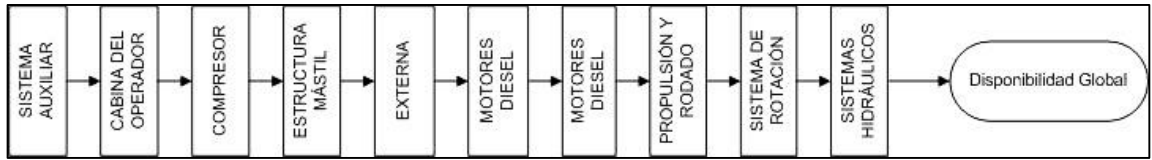


Figura 34. Configuración en serie de los sistemas de la Perforadora PV351[Fuente: Elaboración Propia]

Una vez mencionado dicho antecedente se calculan las disponibilidades individuales de cada sistema, valores que se encuentran detallados a continuación en la Figura 36.

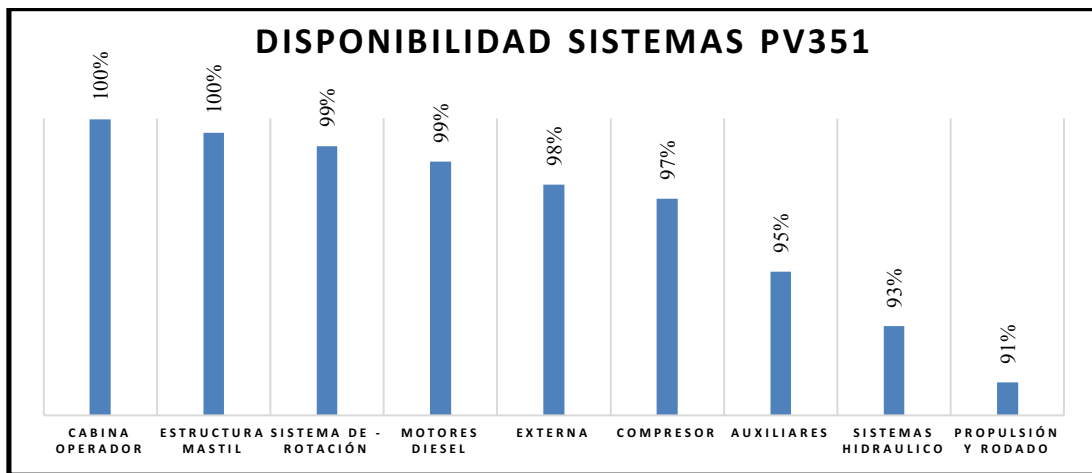


Figura 35. Gráfico de disponibilidad de los sistemas de la perforadora PV351 [Fuente: Elaboración Propia]

La Figura 35, demuestra que el Sistema de Propulsión y Rodado es el conjunto que posee menor disponibilidad, en consecuencia es el sistema que en mayor medida impacta a la disponibilidad global del equipo. En contraste, tanto la cabina del operador como la estructura del mástil, poseen un 100% de disponibilidad física. Se aprecia de forma adicional, que el sistema más crítico, tanto por tiempo medio de reparación como por frecuencia de ocurrencia es el Sistema de Propulsión y Rodado.

4.2. Diagnóstico y tipo de criticidad en el Sistema de Propulsión y Rodado.

En este Capítulo se evalúa la criticidad del Sistema de Propulsión y Rodado y sus subsistemas. Para realizar el análisis se utiliza el Diagrama Jack Knife. En particular para el Sistema de P&R se realiza el diagrama mostrado en la Figura 37.

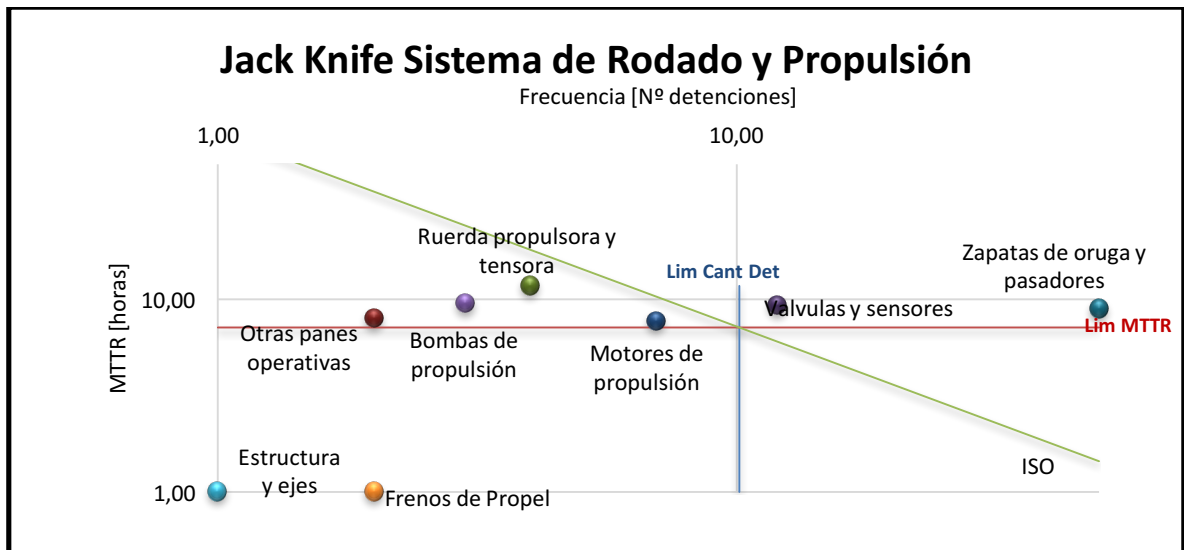


Figura 36. Diagrama JK Sistema de Propulsión y Rodado [Fuente: Elaboración Propia]

De la Figura 36 se establece que los focos críticos son fallas encontradas en las zapatas de oruga y pasadores, de igual manera, en válvulas y sensores. Se observa, que las zapatas poseen una mayor criticidad debido a la frecuencia de ocurrencia de su falla, aunque tienen similares MTTR a la mayoría de los otros subsistemas.

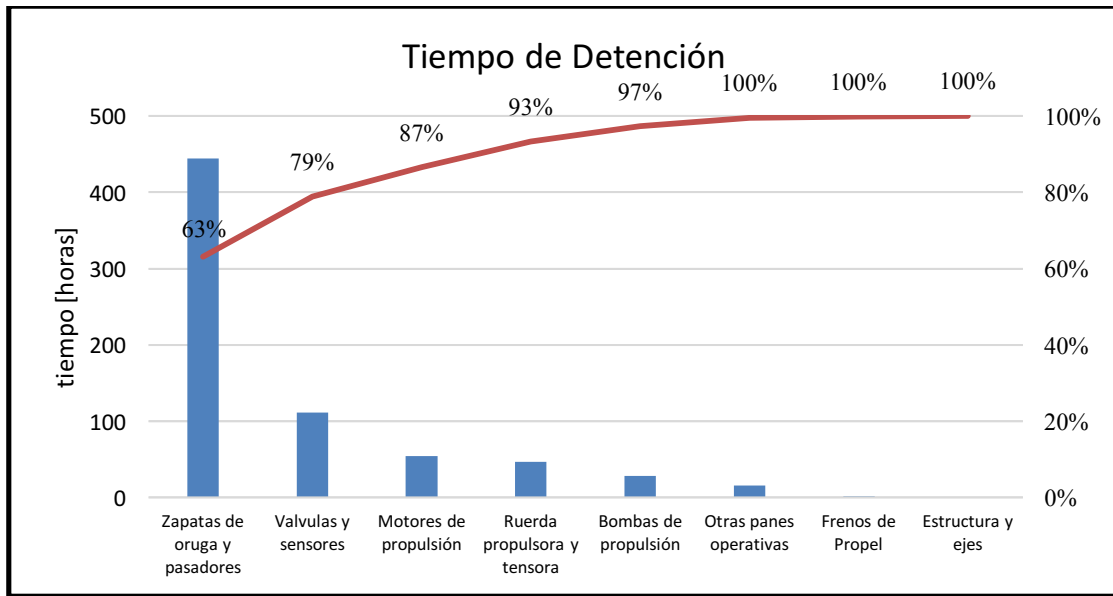


Figura 37. Tiempo No disponible del Sistema P&R[Fuente: Elaboración Propia]

Se aprecia notoriamente en la Figura 37, el tiempo fuera de servicio que posee el conjunto de zapatas y pasadores, el cual es cercano al 63% del tiempo total de detenciones en el rodado, situación que ratifica al Sistema P&R como un foco en donde concentrar el análisis de Modos de Falla y criticidad.

Con todos los antecedentes presentados es posible ratificar que el Sistema de Propulsión y Rodado es el sistema elegido para aplicar el MCC. A modo de resumen, las características de criticidad del Sistema son las siguientes:

1. Se encuentra dentro del grupo de interés definido para la criticidad de componentes, es decir, que sus fallas sean crónicas y agudas.
2. El sistema de Propulsión y Rodado representa un impacto importante en la disponibilidad del equipo
3. Mediante la utilización de pocos recursos se logra un incremento del desempeño general del equipo (permite enfocar los esfuerzos en componentes puntuales)

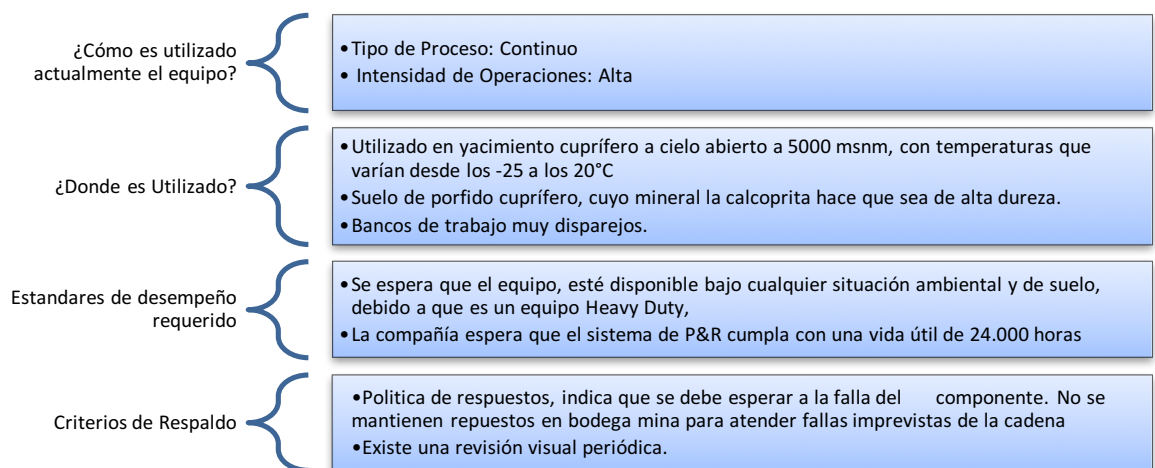
4.3. Análisis Funcional del Sistema de Propulsión y Rodado.

Una parte importante de la metodología MCC, implica conocer las fallas funcionales del sistema o de los componentes bajo estudio (primer paso de la metodología AMEF). Por lo tanto, el objetivo de este análisis es definir las funciones principales y secundarias del Sistema de Propulsión y Rodado, para luego, a partir de estas funciones, determinar las fallas funcionales que presenta el sistema crítico, lo cual es un paso clave en el desarrollo del AMEF. Para desarrollar el análisis funcional del sistema crítico, se utilizará como referencia los conceptos clave señalados en la norma SAE JA 1011 y que según lo descrito en el Marco Teórico, implica desarrollar lo siguiente:

- Definir un Contexto Operacional
- Definir las funciones principales y secundarias
- Establecer los estándares de desempeño

4.3.1. Contexto Operacional actual del Sistema de P&R

El contexto operacional debe responder a las interrogantes que surgen sobre la utilización en una operación normal del sistema de P&R, el cual en faena opera bajo las siguientes características:



La importancia de definir el contexto operacional, es debido a que en algunos casos la falla proviene de agentes externos, y dependen de otros factores para poder controlarlos.

4.3.2. Funciones.

En esta sección se determinan cuáles son las funciones principales y las funciones secundarias del sistema de Propulsión y Rodado, con el fin de entregar la información como *input* en el AMEF.

Para definir las funciones, se establecen primero cuáles son los componentes principales o subsistemas considerados, los cuales corresponde a las ubicaciones técnicas a que corresponden cada función. La Tabla 11, muestra la ubicación técnica principales y una letra con la cual se identifica cada sistema.

Tabla 11. Denominación de los subsistemas del sistema P&R, para identificar los Modos de Fallas [Fuente: Elaboración Propia]

Subsistema	Código
Bomba de propulsión	A
Motor de propulsión	B
Rueda motriz	C
Rueda tensora	D
Válvulas y sensores	E
Zapatillas y oruga	F
Estructura y Ejes	G
Frenos de Propulsión	H

4.3.2.1. Función primaria.

La Función Primaria del Sistema de Propulsión y Rodado hace relación a la razón por la que se posee o se ha adquirido el activo, dicha función está estrictamente relacionado al movimiento y transmisión de propulsión, se define como FP:

FP: “Permitir el desplazamiento de la perforadora PV351 con un rango de velocidad de propulsión de 0 a 1,77 km/h”.

4.3.2.2. Funciones secundarias.

Las funciones secundarias, son funciones auxiliares o extras del sistema. Para caracterizar las funciones secundarias, se analizan las funciones según la características, por ejemplo sobre el movimiento, es decir, si corresponde al movimiento de propulsión o rodadura, también aquellas funciones de tipo auxiliar y estructural. Estas funciones se encuentran clasificadas en la Tabla 12, de acuerdo al diagrama que se muestra en el Anexo 10.

Tabla 12. Funciones secundarias para los sistemas críticos [Fuente: Elaboración propia]

Naturaleza de Función	Ubicación Técnica	Denominación	Función
Propulsión	A	FS1	Impulsar Fluido hidráulico desde estanque hidráulico a motor hidráulico de propulsión.
	B	FS2	Transformar energía hidráulica en movimiento de rotación en motor hidráulico de propulsión.
	C	FS3	Transmitir a la Oruga el movimiento mediante transmisión planetaria,
	H	FS4	Reducir la velocidad o llevar el equipo a 0 Km/h.
Rodado	F	FS5	Permite transformar el movimiento de propulsión en el movimiento de avance del equipo, desde el movimiento que recibe de la rueda propulsora y se transmite a la cadena
	D	FS6	Mantener Tensada La oruga con una flecha de un 5% del largo desde la rueda propulsora al primer rodillo superior, para lograr una adecuada transmisión del Movimiento de Propulsión a la oruga
Estructural	G	FS7	Soportar el peso del equipo (110 ton) y entregar estabilidad durante los traslados
Auxiliares	E	FS8	Permite controlar la presión de 4800 psi sea constante en la alimentación del motor hidráulico y freno.

5. Aplicación de metodología MCC al Sistema de Rodado y Propulsión de perforadora PV351.

En esta sección, se desarrollará íntegramente todos los aspectos relacionados exclusivamente al MCC, enfocado al Sistema de Propulsión y Rodado.

La estructura basada en las normas JA1011 y JA1012, se lleva a cabo en concordancia con los siete pasos que responden a los principales aspectos de establecidos en la norma, en la cual, las cinco primeras preguntas responden al AMEF.

También, se realizan los árboles de fallas correspondientes a este sistema haciendo énfasis al subsistema que presenta un comportamiento de falla crónico y agudo según lo estudiado en el Capítulo 4 y que corresponden a las Zapatas y Pasadores o Tren de Oruga.

Todo los análisis y evaluaciones están respaldado y verificado por el Ingeniero de Confiabilidad y el Especialista Mecánico de perforadoras, además del manual de gestión de activos usado por la compañía [24].

Para graficar la estructura que se va a llevar a cabo la metodología, se ha realizado una adaptación propia del método que presenta en su libro Jim V. Picknell la cual es presentada. En la Figura 38 se muestra la estructura del MCC aplicado en particular al estudio del Sistema de P&R de la Perforadora 18.

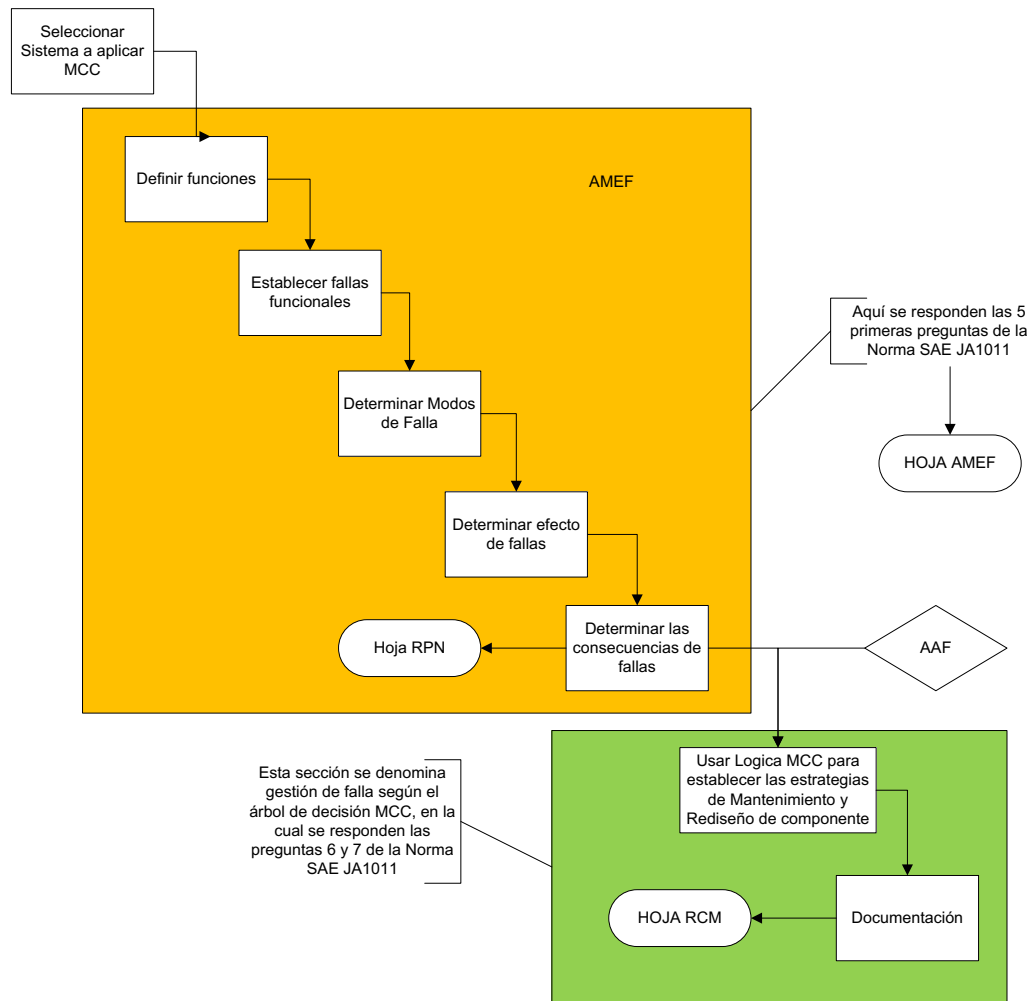


Figura 38. Metodología MCC adaptado a realización de Trabajo de Título [Fuente: Jim V. Picknell “The Reliability Handbook”, adaptación propia]

La metodología en particular que se utiliza en el presente Trabajo de Título observada en la Figura 38, integra los siete pasos establecidos por el MCC, incluyendo dos herramientas de análisis complementarias: el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) y el Análisis de Árbol de Falla (AAF). A continuación se describen las herramientas usadas en la selección del sistema de Propulsión y Rodado como crítico y en la misma línea su comportamiento.

5.1. Análisis del Modo y Efecto de Falla (AMEF).

Una vez conocido el comportamiento tanto funcional como de desempeño del equipo y del sistema crítico, se procede a aplicar los pasos del MCC para establecer los Modos de Fallas principales, impactos y acciones que se pueden tomar para mejorar el desempeño del sistema crítico y por ende el del equipo. Como ya se han caracterizado las funciones principales y secundarias del sistema de P&R, el siguiente paso es dar comienzo a las etapas del Análisis de Modos y Efectos de Falla.

5.1.1. Definición de funciones del Sistema.

Las funciones, son exactamente las que se establecieron en la Sección 4.3.2, las cuales se agrupan en principales y secundarias, según el contexto operacional.

5.1.2. Determinar fallas funcionales.

Las fallas funcionales ocurren cuando el activo deja de cumplir una función determinada, en otras palabras, el equipo o sistema es incapaz de hacer lo que el usuario espera de él. Bajo esta premisa, la falla corresponde a la negación de la función para la que fue adquirido, es decir, no cumplen la función principal, alguna o más de una función secundaria, siendo este incumplimiento de tipo total o parcial, según lo descrito en el marco teórico. En el caso particular del Sistema de Propulsión y Rodado la Falla Principal puede poseer un carácter total o parcial, dependiendo del subsistema y el Modo de Falla que la causa. Se han encontrado las siguientes Fallas Funcionales Principales:

FFP1_{total}: Imposibilidad de permitir el desplazamiento de la perforadora [falla total asociada a la FP]

FFP2_{parcial}: El desplazamiento no puede alcanzar la velocidad máxima de 1,77 km/h [falla parcial asociado a la FP]

FFP3_{parcial}: El desplazamiento se realiza fuera de rango, o alcanza velocidades superiores a 1,77 km/h. [falla parcial asociado a la FP]

Las fallas secundarias, descritas en la Tabla 13, se consideran sólo como fallas totales.

Tabla 13. Descripción de las fallas funcionales asociadas a cada función establecida

[Fuente: elaboración propia]

Naturaleza de Función	Ubicación Técnica	Función		Falla Funcional	
		ID	Descripción	ID	Descripción
Propulsión	A	FS1	Impulsar Fluido hidráulico desde estanque hidráulico a motor hidráulico de propulsión, logrando una presión hidráulica del sistema de 4800 psi.	FFS1	El fluido hidráulico no posee una presión adecuada de 4800 psi en el sistema, o no llega la cantidad necesaria
	B	FS2	Transformar energía hidráulica en movimiento de rotación en motor hidráulico de propulsión.	FFS2	El fluido hidráulico no logra transformarse en energía mecánica dentro del motor de propulsión o no hay movimiento del motor de propulsión.
	C	FS3	Transmitir a la Oruga el movimiento mediante transmisión planetaria,	FFS3	La transmisión planetaria no transmite el movimiento entregado por el motor de propulsión a la oruga, o esta tiene saltos.
	H	FS4	Reducir la velocidad o llevar el equipo a 0 Km/h.	FFS4	No se lleva a cero la velocidad del equipo, o el freno no libera.
Rodado	F	FS5	Permite transformar el movimiento de propulsión en el movimiento de avance del equipo, desde el movimiento que recibe de la rueda propulsora y se transmite a la cadena	FFS5	El movimiento de avance no se realiza, o hay deslizamiento en el terreno.
	D	FS6	Mantener Tensada La oruga con una flecha de un 5% del largo desde la rueda propulsora al primer rodillo superior, para lograr una adecuada transmisión del Movimiento de Propulsión a la oruga	FFS6	El tensado no tiene una flecha de 5% respecto al Largo medido desde la tangente de la rueda propulsora al primer rodillo
Estructural	G	FS7	Soportar el peso del equipo (110 ton) y entregar estabilidad durante los traslados	FFS7	Los bastidores y ejes no entregan la estabilidad necesaria al equipo
Auxiliares	E	FS8	Permite controlar la presión de 4800 psi sea constante en la alimentación del motor hidráulico y freno.	FFS8	Las válvulas y Sensores tienen un control erróneo del flujo hidráulico

5.1.3. Identificación de Modos de Fallas.

Los Modos de Fallas corresponden a todos los hechos que pueden haber causado las fallas funcionales establecidas anteriormente, en otras palabras, son las causas posibles de las fallas funcionales. Por lo tanto, los Modos de Fallas se establecen para cada falla funcional, los cuales serán soportados por el AAF que se desarrolla en la Sección 4.4.2 y son plasmados posteriormente en la hoja de MCC del Anexo 3.

El primer paso en la identificación de los Modos de Fallas, es la descripción de estos, en la cual se deben cumplir con lo siguiente:

- La estructura descrita por la norma.
- Que sean razonablemente posible.
- Proveniente de una fuente de información establecida. (manual, registros, informes de falla, etc.)
- Sea un tipo de falla aceptado por la norma ISO 14224 o por la norma SAE-JA1011.

Los Modos de Fallas, se han asociado a cada falla funcional y han sido identificados mediante una letra código, según el subsistema o ubicación de la falla, tal como se aprecia en la Tabla 11.

Por otro lado, los Modos de Fallas son identificados mediante un estudio histórico de los registros de fallas extraídos del SIGEMM, como también de la información contenida en informes de falla y recopilación de fuentes directas de la ejecución del mantenimiento (mantenedores, planificadores y MonCon). Los Modos de Fallas para funciones primarias y secundarias se han agrupado en la Tabla 14.

Tabla 14. Modos de fallas identificados para el sistema de Propulsión y Rodado
[Fuente: Elaboración Propia]

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	UBICACIÓN DE LA FALLA (SUBSISTEMA)	MODO DE FALLA	ID.
FP	FFP1	A	Presión hidráulica Inexistente por fugas en el sistema hidráulico central	A.1
			Desgaste de mecanismo interno	A.2

			Ruptura o fugas en mangueras y conexiones en la entrada de la bomba	A.3
		B	Fracturas en Sprocket	B.1
			Presión hidráulica inexistente por Desgaste de Bomba PTO	B.2
			Ruptura o fugas en mangueras y conexiones de entrada del motor de propulsión	B.3
			Desgaste prematuro de componentes internos del motor	B.4
		C	Desgaste prematuro de la rueda propulsora por fractura de buje o pasador	C.1
			Fatiga de material en rueda propulsora	C.2
		D	Desgaste prematuro de la rueda tensora por fractura de buje o pasador	D.1
			Fatiga de material en rueda tensora	D.2
			E	Cortocircuito en bobinas
	Ruptura de válvula direccional de propulsión			E.2
	Ruptura en válvula de tensado			E.3
	F		Corte en eslabón de cadena	F.1
			Fisura en links de zapatas	F.2
			Agrietamiento en pasadores	F.3
			Aflojamiento de pasadores	F.4
			Corte de pernos de amarre zapatas	F.5
Caída o corte de pernos por aflojamiento			F.6	
Desgaste prematuro en zapatas			F.7	
FP	FFP2	A	Caída de presión del fluido hidráulica debido a fugas en el sistema hidráulico central	A.1
			Disminución de caudal entregado por desgaste de mecanismo interno	A.2
			Fugas en mangueras y conexiones en entrada de la bomba de propulsión	A.3
		B	Desgaste en Sprocket	B.1
			Caída del flujo entregado por Desgaste en la Bomba PTO	B.2
			Fugas en mangueras y conexiones en entrada de la bomba de propulsión	B.3
	Disminución del caudal que entrega por desgaste interno		B.4	
	FFP3	E	Cortocircuito en bobinas	E.1
			Fugas en válvula direccional de propulsión	E.2
			Fugas en válvula de tensado	E.3
Caída de presión por contaminación en las líneas hidráulicas			E.4	
FS1	FFS1	A	Presión hidráulica inexistente por fuga en el sistema hidráulico central	A.1
			Desgaste de mecanismo interno	A.2
FS2	FFS2	B	Fracturas en Sprocket	B.1
			Presión hidráulica inexistente por desgaste en Bomba PTO	B.2
			Ruptura o fugas en mangueras y conexiones de entrada del motor de propulsión	B.3
			Desgaste prematuro de componentes internos del motor	B.4

FS3	FFS3	C	Desgaste prematuro de la rueda propulsora por fractura de buje o pasador	C.1
			Fatiga de material en rueda propulsora	C.2
FS4	FFS4	H	Desregularización de freno	H.1
			Desgaste prematuro de mecanismo interno	H.2
			Desgaste de balatas	H.3
			Caída de presión por fuga en sistema hidráulico central	H.4
FS5	FFS5	F	Corte en eslabón de cadena	F.1
			Fisura en links de zapatas	F.2
			Agrietamiento en pasadores	F.3
			Aflojamiento de pasadores	F.4
			Corte de pernos de amarre zapatas	F.5
			Caída o corte de pernos por aflojamiento	F.6
			Desgaste prematuro en zapatas	F.7
FS6	FFS6	D	Desgaste prematuro de la rueda tensora por fractura de buje o pasador	D.1
			Presión incorrecta en línea de alimentación de cilindro de tensado.	D.2
FS7	FFS7	G	Fatiga del material del eje	G.1
			Fisura de bastidores u componentes estructurales	G.2
FS8	FFS8	E	Cortocircuito en bobinas	E.1
			Ruptura de válvula direccional de propulsión	E.2
			Ruptura en válvula de tensado	E.3

5.1.4. Efectos de los Modos de Fallas (4to paso del proceso MCC – JA1011).

Los efectos se refieren a qué ocurre cuando se produce cada falla, y qué hechos desencadena la ocurrencia de cada Modo de Falla.

Para establecer un efecto asociado a un Modo de falla, la norma SAE requiere de la siguiente información:

1. Existencia de evidencia de la ocurrencia de la falla
2. Determinación de los efectos sobre:
 - a. Seguridad y medio ambiente.
 - b. Producción y las operaciones.
 - c. Daños secundarios sobre otros activos.

Cada Modo de Falla implica un efecto asociado, para cada Modo de Falla se determinan los efectos descritos en la Tabla 15.

Tabla 15 Efectos de los Modos de fallas del Sistema de rodado y Propulsión [Fuente: Elaboración Propia]

ID. MODO DE FALLA	EFEECTO
A.1	Bomba No entrega fluido, no permite el movimiento del equipo. Pueden existir derrames de fluidos
A.2	Bomba da un bajo rendimiento volumétrico, no permite el movimiento del equipo
A.3	Hay una baja de presión en las líneas por lo que no se entrega la presión adecuada. Puede no permitir el movimiento del equipo. Además se produce pérdida del fluido hidráulico
B.1	Provoca desgaste prematuro de los eslabones de las zapatas
B.2	Bomba entrega bajo flujo, motor no funciona
B.3	Hay una baja de presión en las líneas por lo que no se entrega la presión adecuada. Puede no permitir el movimiento del equipo. Además se produce pérdida del fluido hidráulico
B.4	Bomba da un bajo rendimiento volumétrico, no activa el motor propel y el equipo no puede moverse
C.1	No transmite de forma adecuada el movimiento a la cadena, provoca desgaste excesivo y/o fisuras en los eslabones de las zapatas
C.2	No transmite de forma adecuada el movimiento a la cadena, provoca desgaste excesivo y/o fisuras en los eslabones de las zapatas
D.1	No transmite de forma adecuada el movimiento a la cadena, provoca desgaste excesivo y/o fisuras en los eslabones de las zapatas
D.2	No transmite de forma adecuada el movimiento a la cadena, provoca desgaste excesivo y/o fisuras en los eslabones de las zapatas
E.1	No acciona válvulas
E.2	Provoca falla a la transmisión de fluido al propel
E.3	No se tensa la cadena adecuadamente
F.1	Cadena queda fuera de operación y maquina no puede desplazarse
F.2	Amenaza que implica atención inmediata, ya que la cadena podría cortarse dejando a la maquina con una falla mayor y fuera de operación
F.3	Amenaza que implica atención inmediata, ya que la cadena podría cortarse dejando a la maquina con una falla mayor y fuera de operación
F.4	Amenaza que implica atención inmediata, ya que la cadena podría cortarse dejando a la maquina con una falla mayor y fuera de operación
F.5	Amenaza que implica atención inmediata, ya que la cadena podría cortarse dejando a la maquina con una falla mayor y fuera de operación
F.6	Amenaza que implica atención inmediata, ya que la cadena podría cortarse dejando a la maquina con una falla mayor y fuera de operación
F.7	Amenaza que implica atención inmediata, ya que la cadena podría cortarse dejando a la maquina con una falla mayor y fuera de operación
A.1	Bomba entrega bajo flujo de fluido
A.2	Bomba da un bajo rendimiento volumétrico, no permite el movimiento del equipo
A.3	Hay una baja de presión en las líneas por lo que no se entrega la presión adecuada. Puede no permitir el movimiento del equipo. Además se produce pérdida del fluido hidráulico
B.1	Provoca desgaste prematuro de los eslabones de las zapatas
B.2	Bomba entrega bajo flujo, motor no funciona
B.3	Hay una baja de presión en las líneas por lo que no se entrega la presión adecuada. Puede no permitir el movimiento del equipo. Además se produce pérdida del fluido hidráulico
B.4*	Bomba da un bajo rendimiento volumétrico, no activa el motor propel y el equipo no puede moverse
E.1	No acciona válvulas
E.2	Provoca falla a la transmisión de fluido al propel
E.3	No se tensa la cadena adecuadamente
E.4	Mal funcionamiento y daño a válvulas, bomba y motores

G.1	Desestabilización del chasis, puede presentarse fracturas y/ o desgaste prematuro mayormente visible a uno de los bastidores.
G.2	bastidores fracturados o desgastados estructuralmente, puede provocar daño a la cadena por no distribuir adecuadamente los esfuerzos
H.1	Equipo no frena adecuadamente y/o se produce el bloqueo del equipo
H.2	Equipo no frena adecuadamente y/o se produce el bloqueo del equipo
H.3	Freno con excesivo ruido, además que no hay un frenado adecuado.
H.4	Bomba entrega bajo flujo

En este punto se termina el AMEF y se da paso a la evaluación de prioridad del riesgo (RPN) que es parte del RCM, que desarrolla en el siguiente el apartado.

5.1.5. Síntesis del Análisis de Modos y Efectos de Falla.

Se han establecido, según los criterios de dicha norma, cuáles son las funciones principales y secundarias del Sistema de Rodado y Propulsión, las fallas funcionales y los Modos de Fallas asociados a cada uno de los subsistemas. Así también, se han señalado los efectos y las consecuencias de cada Modo de Falla que son presentados en el Anexo 1.

Se ha ponderado cada consecuencia de los Modos de Fallas, obteniendo un índice de riesgo para cada Modo de Falla, el cual se concreta en la Hoja RPN del Anexo 2. En la realización de esta metodología, se encuentra que uno de los efectos y consecuencias más graves, son aquellos Modos de Fallas relacionados a las zapatas y oruga, tales como cortes de cadena y desgaste prematuro de componentes de estas (eslabones, pernos, zapatas, otros)

Como también se demostró en la Sección 6.2.3, las zapatas y pasadores son los componentes más críticos dentro de este sistema en cuanto a tiempo medio de reparación y frecuencia de falla.

5.2. Consecuencia de los Modos de Fallas.

Las consecuencias de los Modos de Fallas representan la gravedad que supone cada Modo de Falla, cuyo valor se debe considerar como si ninguna tarea específica de

control se esté llevando a cabo actualmente para anticipar, prevenir o detectar la falla¹.

Ahora bien, se debe distinguir además en el estudio de AMEF, si dichas fallas son ocultas o evidentes, según se presenta en la norma JA1012, y asignar a cada Modo de Falla un determinado índice de riesgo, el cual debe contar con la aprobación de un especialista del área. Para este estudio, se confeccionó la Hoja de Índice de Riesgo con el Jefe de Perforadoras y especialista mecánico. El detalle de las consecuencias así como efectos de los Modos de Falla se encuentra en la hoja AMEF del Anexo 1 y la hoja de riesgo en el Anexo 2.

Como resultado de esta sección, se obtiene un índice el cual se indica en donde están las mayores riesgos del Sistema de Propulsión y Rodado, en base a esto, se establecen las acciones proactivas y se buscarán posibles soluciones a aquello que implique una secuela más grave, en caso de falla para el equipo.

Para definir las acciones proactivas, es necesario encontrar las causas raíces generales o específicas del Sistema de Propulsión y Rodado. Con el fin de detectar estas causas en el se lleva a cabo un AAF, descrito a el Apartado 5.3

5.3. Análisis de árbol de falla asociado a Modos de Falla en Subsistema crónico y agudo.

El árbol de falla es utilizado generalmente para localizar y corregir fallas, en el caso particular de este estudio se utilizará con el objetivo de encontrar las causas raíces de los Modos de Falla relacionados con las zapatas y pasadores, y por consecuencia la cadena del rodado en general.

¹ SAE JA1011, sección 5.5.2

El AAF se basa en los registros de falla, conocimiento de mantenedores y especialistas. El que ha sido conciliado por medio de reuniones con personal de ingeniería de mantenimiento y primera línea de ejecución.

Esta sección entrega los aspectos principales para considerar en el rediseño de componentes con baja confiabilidad así como acciones proactivas que se puedan tomar con la actual cadena CAT375. Utilizando un estudio de Niveles de Causalidad, establecido en la norma JA1012, se construye la Tabla 16:

Tabla 16. Niveles de causalidad de falla funcional del rodado de la PV351 [Fuente: Elaboración Propia]

Niveles de Causalidad "Imposibilidad de permitir el desplazamiento de la perforadora [falla funcional total asociada a la FP]				
Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV (Causa Raíz)	ID de falla
FFP1	Fallas en Zapatas y Orugas	Ajustes Defectuoso de Tensado	Tensado con flecha	1
			Mal Tensado	1
		Diseño subdimensionado	Rodado sub-dimensionado, diseñado para un tractor ed 60 toneladas en vacío	2
			Zapatas con tres garras para tractor genera sobre esfuerzos.	2
		Operación Sub-estándar	Exceso de traslado	3
			Mala Condición del Terreno	4
			Traslado forma inversa	5
		Mantenimiento Deficiente	Giro inadecuados	5
			Falta de Instrumentos instrucción y referencias	6

Se han establecido las actividades presentadas en las Tabla 17 para solucionar las causas raíces que se han detectado en la Tabla 16.

Tabla 17. Plan de acción correctivo para evitar las casusas raíces de la falla funcional primaria [Fuente: Elaboración Propia]

Id de Falla	Plan de Acción
1	Introducir a las mantenciones preventivas los valores recomendados por el fabricante (en MCC)
2	Solicitar a proveedores los <i>Upgrades</i> posibles para el mejoramiento de las deficiencias presentes
3	Revisar con Operaciones mina las condiciones de traslado
4	Revisar con operaciones mina las condiciones del terreno donde se está trabajando, crear planes para mejorarlo
5	Revisar habilidades y conocimientos de los operadores
6	Mejorar las competencias del personal de mantención mina.

El Diagrama de Árbol de Falla se encuentra contenido en el Anexo 6, el cual sigue una ruta crítica, determinada por los análisis establecidos en el Capítulo 4.4.1. Se ramifica la falla general hasta la fisura de las zapatas y pasadores, que según los Diagramas Jack Knife resulta ser la condición más crítica. En el Árbol de Falla se establecen las causas raíces para cada nivel de causalidad de la FFP1, a modo de simplificar el análisis.

Se ha definido que el desgaste y falla prematura de la oruga, más específicamente en zapatas y pasadores, es debido a las siguientes causas raíces:

1. Sobre tensado
2. Mal tensado
3. Rodado sub-dimensionado, diseñado para un tractor ed 60 toneladas en vacío
4. Zapatas con tres garras para tractor genera sobre esfuerzos.
5. Exceso de traslado
6. Mala condición del terreno
7. Traslado de forma inversa
8. Falta de instrumentos instrucción y referencias

Dichos hallazgos son atribuibles principalmente a condiciones sub-estándar en la operación, mantenimiento y en la sub-dimensión de diseño del rodado para el peso del equipo, como se muestra en el Anexo 6.

Las condiciones sub-estándar de operación mencionadas anteriormente, implican que la cadena se vea sometida a esfuerzos considerablemente mayores, debido a mala operación en maniobras de giro del equipo, también cuando el terreno es de forma irregular, lo que provoca que se aplique cargas puntuales en algunas zapatas y esto no sea distribuido uniformemente en toda la extensión de la cadena.

5.4. Determinación de estrategias de Mantenimiento derivadas de la Metodología de MCC.

La gestión para los Modos de Fallas detectados, se realiza mediante estrategias de mantenimiento, las cuáles se deben llevar a cabo como si ninguna tarea específica estuviese siendo realizada actualmente para anticipar, prevenir o detectar la falla. Las estrategias establecidas se deben acoplar a las actuales Pautas de Mantenimiento de la Perforadora PV351.

Para la determinación de las estrategias, se toma como base la administración de las consecuencias de los modos de fallas establecidos en el capítulo 12 de la norma JA1012 y, adicionalmente, se apoya con el diagrama de decisión del MCC y el plan de acción obtenido del árbol de falla (aplicado al subsistema de zapatas y orugas)

El Árbol de Falla indica que las principales causas raíces de fallas, son el mantenimiento y operación deficiente por un lado, y por el otro, el diseño del Rodado Caterpillar.

Las estrategias de mantenimiento, son abarcadas por el MCC y estas se encuentran en el Anexo 3, donde cada Modo de Falla se somete a la guía establecida por el diagrama de decisión del MCC, estableciendo una estrategia específica para los Modos de Falla críticos, las que han sido consensuado con el ingeniero de confiabilidad, especialista mecánico y supervisado por el Jefe de planificación de perforadoras. Por otro lado, en el Capítulo 6 se propone la reingeniería de componentes afectados por el mal diseño del rodado, trabajo realizado en conjunto con proveedores y especialistas del área.

Cada acción de gestión de los Modos de Falla es llevado a cabo mediante un proceso de entrevistas con los especialistas involucrados, mencionados anteriormente. Con la finalidad de mostrar cómo se lleva a cabo el proceso de determinación de tareas, asociado a la gestión de fallas del MCC realizado en el sistema de Propulsión y Rodado, se presenta a continuación el proceso de selección de tareas guiado por el árbol de decisión del MCC.

En la Tabla 18 se muestran los modos de fallas con mayor índice RPN, lo que implica que según lo analizado son las que presentan un mayor riesgo operacional. Sobre estos modos de fallas se determinan las estrategias mediante la metodología MCC, sin embargo, el análisis completo de la metodología MCC, se puede seguir en los formatos utilizados en la compañía en los Anexos 1,2 y 3.

Tabla 18: Índice RPN de modos de fallas más críticos [Fuente: Elaboración propia]

MODO DE FALLA	RIESGO	INDICE RPN	DETECTABILIDAD (D)	OCURRENCIA (O)	SEVERIDAD (S)	S1	S2	S3	S4	S5	
						Seguridad	MA	Producción	Tiempo Reparación	Costo de Reparación	
						10%	10%	20%	30%	30%	
1.F.7	Desgaste prematuro en zapatas	Alto	337,68	7		6,7	2	4	5	8	9
1.F.1	Corte en eslabón de cadena	Alto	292,32	7	6	5,8	2	4	5	8	6
1.F.2	Fisura en links de zapatas	Alto	292,32	7	6	5,8	2	4	5	8	6
1.F.3	Agrietamiento en pasadores	Alto	292,32	7	6	5,8	2	4	5	8	6

Para cada modo de falla, luego de hacer el proceso lógico establecido por el árbol de decisión, las cuales por ser fallas visibles y presentar un alto impacto a la producción y seguridad siguen el siguiente diagrama lógico de la Figura 39. Los modos de fallas críticos tienen una consecuencia evidente que es el descarrilamiento de la oruga o corte, no tiene riesgo de fatalidad ni daño al medio ambiente en condiciones normales, por lo que debiese seguir la columna marcada en amarillo del diagrama.

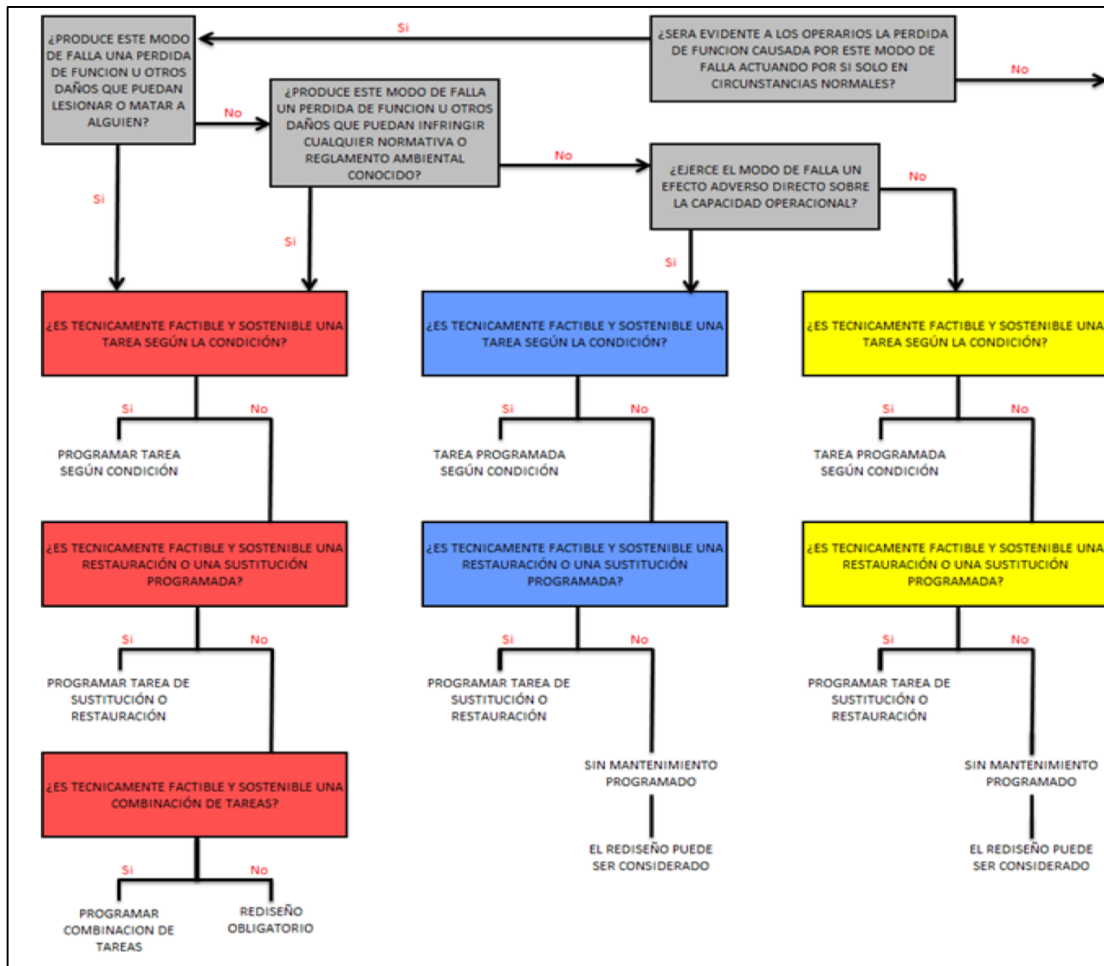


Figura 39: Árbol de decisión RCM en acercamiento [Fuente: Norma SAE JA1012]

Para la definición de tareas correctivas asociadas a los modos de falla más críticos, que tienen en común que se encuentran ubicados en pasadores y eslabones, es decir, en el tren de oruga, es posible determinar mediante la experiencia del mantenimiento de los expertos que se puede programar una tarea según condición ya que los componentes presentan fisuras previas o deformaciones previo a su corte. Con este antecedente se puede realizar una tarea según la condición la cual se debe definir en la mesa de trabajo.

Estas tareas se presentan en la hoja de MCC que está contenida en el Anexo 3, sin embargo a continuación en la Tabla 10 se presenta a modo de guía las tareas establecida para las tareas mas críticas.

Tabla 19: Gestión de Fallas según el árbol de decisión [Fuente: Elaboración propia]

MODO DE FALLA		CONSECUENCIA	ACTIVIDAD	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR	FRECUENCIA	PERSONAL
1.F.7	Desgaste prematuro en zapatas	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este	Implementar rediseño de cadena	Cambio de cadena a PPR2 para abarcar el subdiseño del rodado CAT 375	18.000 horas	4 mecánicos y 1 eléctrico
1.F.1	Corte en eslabón de cadena	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este	Programar tarea de según condición	Inspección de alojamientos de zapatas y alojamientos de pernos	500 horas	1 mecánico
1.F.2	Fisura en links de zapatas	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este	Programar tarea de según condición	Buscar fisuras mayores a un milímetro en zapatas	500 horas	1 moncon, 1 mecánico, o 2 mecánicos
1.F.3	Agrietamiento en pasadores	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este	Programar tarea de según condición	Buscar fisuras mayores a un milímetro en pasadores de forma visual y realizar ultrasonido a pasadores, si se encuentra fisuras internas del pasador mayores a 1 milímetro, se debe cambiar pasador.	500 horas	1 moncon, 1 mecánico, o 2 mecánicos

En el Capítulo 6 se muestra la evaluación del rediseño del tren de oruga el cual viene a solucionar la tarea más crítica por subdimensionamiento del rodado.

6. Evaluación del Rediseño del Tren de Oruga.

En el presente capítulo se exponen las variables consideradas para encontrar una alternativa que permita mejorar la confiabilidad de los componentes más afectados. Gracias al MCC y AAF se ha logrado determinar que el diseño de las zapatas no es el óptimo para soportar adecuadamente las dimensiones del equipo, además de que las zapatas poseen tres garras, las cuales le otorgan al equipo mayor agarre y por ende tracción, pero la perforadora no es un equipo que necesite tracción, ya que sus movimientos son muy limitados durante la operación, debiendo ser estos traslados no mayor a 200 metros continuos o entre pozos, de requerirse distancias mayores el traslado debe ser mediante una cama baja o *Tow Haul*.

Otro antecedente a considerar, son las solicitaciones por sobre-esfuerzos axiales y de corte, que se hace visible en los eslabones de zapatas, pasadores y pernos, los cuales sufren fisuras y fracturas constantes, situación que se agrava por condiciones del terreno (bancos de trabajo irregulares, patios de perforación inclinados y de alta dureza) y malas prácticas de operación. Una de las consecuencia de los Modos de Fallas encontrados en las zapatas y orugas es el corte de eslabones y pasadores, teniendo como efecto el descarrilamiento del tren de oruga, tal como se evidencia en la Figura 39.



Figura 40. Oruga descarrilada por pasador cortado en perforadora PV351 [Fuente: Elaboración Propia]

Adicionalmente, se presenta la condición de que el rodado esta diseñado para una excavadora hidraulica CAT375 y CAT375L y se ha adaptado para una perforadora [6]. La perforadora PV351 posee aproximadamente el doble de peso (150 ton en carga) que la excavadora hidráulica (78 ton en carga), estas diferencias en sus dimensiones se pueden observar en la Figura 40, donde también se muestra la proporción de ambos equipos con respecto al mismo bastidor y realizando funciones distintas. Para la perforadora la función de soporte y estabilidad que entrega el Sistema de Propulsión y Rodado es mayor importancia que tener una mayor tracción adicional durante el movimiento, a diferencia de la excavadora. Esta discrepancia entre las solicitudes en ambos equipos demuestra la necesidad de rediseñar componentes en la perforadora.



Figura 41. Equipos Mineros con rodado CAT 375, Perforadora PV351 (izquierda) y Excavadora Hidráulica 375 (Derecha) [Fuente: Elaboración Propia]

Una de las consecuencias (según la definición establecida en la Norma JA1011) de los modos de falla en el Sistema de Propulsión y Rodado, son los costos por mantenimiento, los cuales pueden alcanzar cerca del 50% del costo total de mantenimiento del equipo, aunque con una gran variabilidad dependiendo de las estrategias de mantenimiento. Es por este motivo, que se buscó en conjunto con proveedores, opciones de rediseño del tren de oruga, para mejorar la vida útil real del equipo y desempeño de las zapatas, una de las causas raíces según el Diagrama en el Anexo 6.

Debido a que los antecedentes entregados por el AAF justifican el rediseño de componentes asociados al Sistema de Propulsión y Rodado. La forma de abarcar el rediseño es, básicamente, mediante los siguientes cuatro pasos:

1. Establecer el Panorama actual.
2. Levantamiento de fallas y componentes dañados.
3. Investigación sobre alternativas de diseño, en base a lo que se ofrece en el mercado. y comportamiento de equipos que utilicen rodado CAT o similar.
4. Recomendación del rediseño según factibilidad.

6.1. Componentes del la oruga CAT 375.

Para comprender los sistemas afectados, se deben distinguir los componentes que conforman el Rodado y la Propulsión (ver Figura VII-3). Los elementos constituyentes del rodado son los siguientes:

1. Cadena (links y pasadores)
2. Rodillos superiores
3. Rueda Motriz
4. Rodillos superiores
5. Rueda tensora
6. Zapatas de oruga

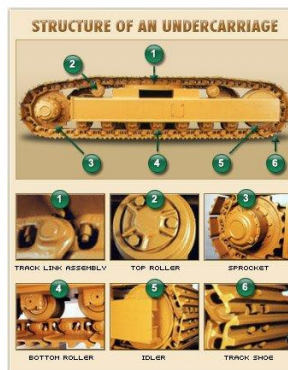


Figura 42. Componentes de Rodado Caterpillar [Fuente: *A Complete Guide to Caterpillar® Undercarriage Systems, Finning Review 2013*]

Por otro lado, en la propulsión intervienen los siguientes componentes:







7. Motor hidraulico
8. Transmisión planetaria
9. Válvulas y sensores
10. Sistema de autotensado (acumulador y cilindro)

6.2. Levantamiento de componentes dañados.

El diagrama Jack Knife en la Figura 37, estipula que los pasadores y zapatas, son los componentes del Sistema de Propulsión y Rodado que presentan fallas más frecuentemente dentro del Sistema de Propulsión y Rodado, impactando fuertemente en la confiabilidad del equipo. Adicionalmente, el corte del rodado implica altos tiempos de detención de falla por la reparación, impactando también la mantenibilidad del equipo.

Para realizar un estudio más avanzado, se elabora en conjunto con Experto Atlas Copco un levantamiento de componentes dañados, mediante una inspección realizada a los cuatros equipos PV351 de Minera Escondida. La Tabla 18, indica de manera visual los Modos de Fallas para el Sistema de Propulsión y Rodado identificados en el AMEF y el AAF presentado en el Capítulo VI, adicionalmente el análisis de los Modos de Fallas se encuentra contenido Anexo 1 y las causas raíces en el Anexo 6, por lo que el presente capítulo solo se pretende entregar información gráfica y empírica de fallas.

Tabla 20. Levantamiento de fallas en componentes de sistema de propulsión y Rodado
[Fuente: Elaboración Propia]

Componente	Observación	Fotografía
Cadena (eslabones)	<p>Se observa fisuras en links, se presenta como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Astillamiento • Trizadura • Deformación 	
Cadena (pasadores)	<p>Pasadores se desplazan respecto al centro de la cadena, por rotura de sellos o fisuras en soldaduras externas.</p>	
Cadena (pasadores)	<p>Pasadores con fractura, por concentración de esfuerzos de cortes, esta es una de las fallas más frecuentes.</p>	
Rueda Motriz	<p>Se observa desgaste en dientes de rueda motriz en el sentido de avance de la oruga, en ambos lados. Se presenta como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desgaste o punta de lapiz • Dientes quebrados 	
Pasadores de barra ecualizadora	<p>Pasador de la barra ecualizadora con evidente desgaste en la sección transversal o también llamado “acinturamiento”.</p>	
Sistema de tensado	<p>Se observa base de cilindro de tensado fisurada</p>	

Sin duda, la subdimensión del rodado respecto a la estructura que soporta y las condiciones de trabajos no adecuadas, provocan un desgaste prematuro de cada uno de sus componentes. Para mejorar esta condición, evaluar el rediseño es fundamental, enfocado en que la implementación sea lo menos invasiva posible (recordar que la situación que gatilla este estudio, es que el equipo debe poseer la mayor disponibilidad posible). El proceso de evaluación debe considerar los siguientes aspectos o restricciones:

1. Se debe mantener la base del rodado y robustecer o adecuar el diseño de ciertos componentes, los cuales deben ser compatibles con los originales.
2. Se debe considerar que las condiciones de operación no siempre serán las óptimas y el equipo debe responder ante estas eventualidades, las cuales se deben evaluar cuando se presenten según las limitaciones del fabricante establecidas en el Capítulo 2.4
3. Evaluar alternativas del mercado disponibles tanto para perforadoras como para otros equipos que se desplazan mediante orugas.

6.3. Análisis Comparativo de Sistemas de Propulsión y Rodado en Máquinas.

Como se hace mención previamente, es importante conocer que alternativas ofrece el mercado, así como también los mecanismos que permiten en otras maquinarias tener buenos resultados en cuanto a la confiabilidad, en esta sección se presentan tres máquinas que se mueven mediante sistemas de tren de oruga, los cuales mediante un adecuado plan de mantenimiento, se posicionan como equipos referentes respecto a su confiabilidad. Los equipos escogido para este analisis comparativos son los siguientes:

1. Excavadora Hidráulica CAT 375, ya que utiliza el mismo rodado CAT375.
2. Pala Electrica P&H4100 XPC, con una disponibilidad sobre un 90% en Chile.
3. Tanque Leopard II, debido a su diseño y montaje vanguardista

Se debe tener una idea general de las aplicaciones de cada equipo y determinar como sus Sistemas de Propulsión y Rodado ayudan, y por qué poseen mejores resultados.

6.3.1. Excavadora Hidráulica CAT 375.

Las excavadoras hidraulicas (ver Figura 42) tiene aplicaciones muy versátiles, como por ejemplo: demolición, limpieza de obras, procesamiento de chatarra, fragmentación de superficies de caminos y lechos de rocas.



Figura 43. Excavadora Hidráulica 375L con rodado CAT375 [Fuente: Caterpillar Performance Handbook, edición 2]

Se observa que la excavadora 375L, utiliza el mismo rodado que la perforadora PV351. el cual consta de zapatas de triple garra, rodillos guía inferiores, rodillos superiores, rueda motriz y tensora. El tren de oruga cuenta con un conjunto de zapatas con pasadores simples y reforzados tipo PPR2, tal como se puede observar en la Figura 43.

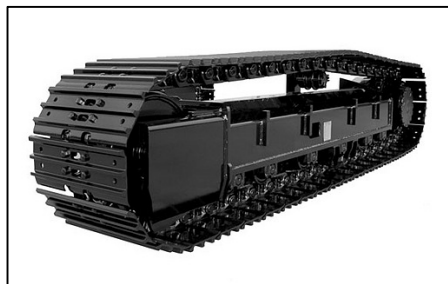




Figura 44. Rodado modelo CAT 375 [Fuente: CAT Performance Handbook, ed. 2]

En la Tabla 19, se establece que la masa máxima del equipo, considerando, combustible, lubricante y refrigerante, llega a las 80 toneladas, mientras que en la perforadora debe soportar una carga de 150 toneladas, prácticamente el doble, por lo que en cada uno de sus movimientos los esfuerzos a que se somete el rodado son de mayor magnitud. [26]

Tabla 21. Especificaciones de operación de excavadora 375L [Fuente: *A Performance Handbook*, edición 29 CATERPILLAR]

				
MODEL	375 L		375 L	
Sourcing	Japan, U.S.		Belgium	
Flywheel Power	319 kW	428 hp	319 kW	428 hp
Operating Weight*	78 870 kg	173,910 lb	80 700 kg**	177,940 lb**
Bucket Capacity Range (heaped)	1.5-4.4 m ³	1.96-5.75 yd ³	2.7-5.6 m ³	3.5-7.3 yd ³
Engine Model	3406CATTAC		3406CATAAC	
Rated Engine RPM	1800		1800	
No. of Cylinders	6		6	
Bore	137 mm	5.4"	137 mm	5.4"
Stroke	165 mm	6.5"	165 mm	6.5"
Displacement	14.6 L	893 in ³	14.6 L	891 in ³
Max. Implement Hydraulic Pump Output at Rated RPM	2 × 430 L/min	2 × 114 gpm	2 × 435 L/min	2 × 115 gpm
Relief Valve Settings:				
Implement Circuits	31 400 kPa	4550 psi	31 400 kPa	4550 psi
Travel Circuits	34 300 kPa	4980 psi	34 300 kPa	4980 psi
Swing Circuits	27 500 kPa	3980 psi		
Pilot Circuits	3500 kPa	508 psi	3480 kPa	505 psi
Maximum Drawbar Pull	546 kN	122,800 lb	Two Speed Travel Lo: 546 kN 122,795 lb Hi: 278 kN 62,390 lb	
Maximum Travel Speed at Rated RPM	Two Speed Travel Lo: 2.7 km/h 1.7 mph Hi: 4.4 km/h 2.7 mph		Lo: 2.7 km/h 1.7 mph Hi: 4.5 km/h 2.8 mph	
Width of Standard Track Shoe	750 mm	2'6"	610 mm	2'0"
Overall Track Length	6.36 m	20'10"	6360 mm	20'10.4"
Ground Contact Area with Std. Shoe	8.33 m ²	12,910 in ²	6.77 m ²	10,500 in ²
Track Gauge	2.75 m	9'0"	2.75 m	9'4"
Extended	3.51 m	11'6"	3.51 m	11'6"
Fuel Tank Refill Capacity	990 L	262 U.S. gal	990 L	262 U.S. gal

*Operating weight includes coolant, lubricants, full fuel tank, one-piece boom, long stick, small profile bucket, operator 75 kg (165 lb) and wide shoes.
 **Operating weight includes coolant, lubricants, full fuel tank, reach boom, medium stick configuration, bucket and operator 75 kg (165 lb).
NOTE: Certain models may not be available in all Sales areas.
 Specifications may also vary by Sales area.
 Contact your Caterpillar District Office for details.

Por otro lado, a diferencia de las perforadoras, la excavadora debe realizar tareas en lugares de difícil acceso, por lo cual su Sistema de Propulsión debe ser versátil y poseer una buena tracción cuando sube o accede a pendientes, terrenos irregulares y otros. La perforadora realiza trabajos estacionarios en superficies idealmente planas y con inclinación no mayor a diez grados.

Las condiciones de trabajo tanto para una perforadora como para la excavadora hidráulica, obedecen a criterios muy dispares de operación, por lo que concebir el uso del mismo rodado en la perforadora, no es un criterio adecuado para el diseño ya que los esfuerzos son aplicados de forma distinta.

6.3.2. Pala Eléctrica P&H 4100 XPC.

Las palas eléctricas, son utilizadas en el carguío de mineral en la mediana y gran minería, principalmente por su capacidad para cargar material en camiones de alto tonelaje, trabajan en los frentes de carguío en donde generalmente realizan solo unos cuantos y muy leves movimientos de traslado durante el día. El modelo P&H 4100XPC es la pala preferida por las minas de alta producción en todo el mundo, ya que proporciona una capacidad nominal de 108,9 ton. métricas (120 ton.) para camiones que cargan hasta 363 ton. métricas (400 ton.), y se destaca por su alta confiabilidad, respecto a competidores.



Figura 45. Pala Eléctrica Modelo 4100XPC, SHE079 en Minera Escondida [Fuente: Elaboración Propia]

Respecto al Sistema de Propulsión y Rodado, cada mecanismo impulsor consta de un motor de corriente continua, transmisión planetaria, conjunto de frenos, rueda tensora y un tren de oruga. La oruga esta compuesta de un conjunto de **zapatas planas** con bordes biselados, acopladas por pasadores de construcción sencilla, como se observa en la Figura 45. [29]



Figura 46. Rodado L&H utilizado en Palas P&H 4100XPC [Fuente: Elaboración Propia]

Actualmente, una gran cantidad de equipos han adoptado el Sistema de Rodado proporcionado por la empresa L&H y el cual es utilizado por el Modelo 4100XPC. Este diseño se destaca por las siguientes características:

1. **Engranaje profundo.** La rueda motriz y zapatas diseñadas para una vida prolongada, mantienen un engranaje profundo para reducir el riesgo de deslizamiento mientras se desgastan naturalmente los componentes.
2. **Zapatas de manganeso** endurecidas por el trabajo y con una pulgada extra de metal se desgastan de manera uniforme y duran un año extra o más.
3. **Bujes de *ToughMet*,** de resistencia alta y fricción baja, que triplican la vida de estos bujes en comparación a los componentes estándares de manganeso y bronce. [29]

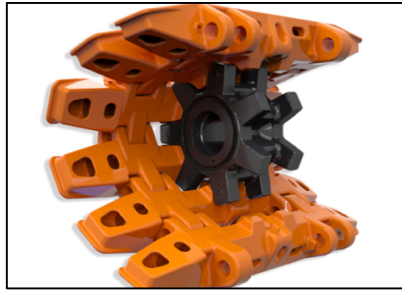


Figura 47. Conjunto de rueda propulsora y tren de oruga [Fuente: Catálogo de productos L&H para la Minería, folleto comercial]

Los principales problemas en este sistema de propulsión están dados por el desgaste estructural en bastidores y tornamesa, no en el corte de eslabones y pasadores como sucede en las perforadoras PV351, debido principalmente al poco movimiento de traslado, siendo mayormente relevante la función de soporte estructural de la propia masa del equipo. [29]

6.3.3. Tanque de guerra Leopard II.

El tanque Leopard II de fabricación alemana y origen en la década de los setenta y es actualmente uno de los tanques más utilizados por ejércitos occidentales, debido a su confiabilidad, blindaje y armamento. Esta versión de los Leopard posee un peso total aproximado de 50 toneladas y es mostrado en la Figura 47. [28]



Figura 48. Tanque Leopard II [Fuente: Leopard II wikipedia, la enciclopedia libre consulta en línea]

Su mecánica básica, consta de un motor diésel de 12 cilindros capaz de producir 1500 hp, el cual trabaja en conjunto con una caja planetaria de cuatro marchas hacia delante y dos marchas en reversa que proporciona en carretera hasta 68 km/h. Las orugas constan de 82 eslabones cada una, son de tipo Diehl 570F y tienen conectores terminales forrados de caucho, también tienen zapatas desmontables de este mismo material como las observadas en la Figura 49. El esquema general se muestra en la Figura 48, donde se aprecia el conjunto de la cadena, rueda motriz y tensora y ruedas guías superiores e inferiores. [28]

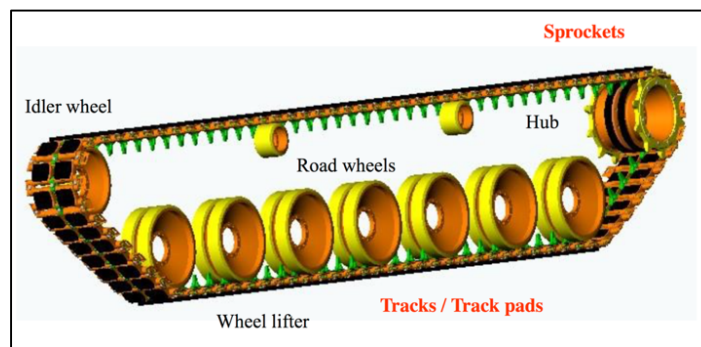


Figura 49. Sistema de Propulsión y Rodado utilizado en Tanques Leopard II [Fuente: DIEHL, modelo 570F catalogo de defensa, sistemas de zapatas]

La ventaja del Sistema Diehl es que posee elementos de caucho que se semejan al funcionamiento del neumático, actuando como un elemento de desgaste, los cuales son fácilmente reemplazables al igual que sus terminaciones fijadas solo por tornillos, tal como se observa en la Figura 49. [27]



Figura 50. Zapatas y terminales “Quickfit” del sistema Diehl 570F [Fuente: DIEHL, modelo 570F catalogo de defensa, sistemas de zapatas]

Entre los beneficios que posee la utilización de este tipo de rodados en tanques, es la versatilidad y fácil reparación que existe en terreno con el sistema “*quickfit*” el cual permite un rápido reemplazo de almohadillas y zapatas.

6.3.4. Análisis comparativo de los tres sistemas de rodado estudiados.

Para realizar un resumen comparativo, se ha confeccionado la Tabla 20, la cual muestra los beneficios y desventajas que presentan cada uno de los Sistemas de Propulsión y Rodado anteriormente estudiados.

Tabla 22. Cuadro comparativos de Rodados estudiados en Capítulo VII [Fuente: Elaboración propia]

Rodado	Ventaja	Desventajas
CAT 375 PPR2 (Excavadora)	1 Permite obtener mayor tracción en el movimiento del equipo, en pendientes y terrenos irregulares. 2 Mayor vida útil que la versión normal de la cadena PPR2	<ul style="list-style-type: none"> • Concentran esfuerzos en giros del equipo, suelen cortarse los links y pasadores
L&H OMEGA (Pala 4100XPC)	3 Zapatas presentan gran flotabilidad, asociada al área de presión de la zapata, logrando una mejor distribución de esfuerzos. 4 Mayor vida útil del sistema. 5 Disminuye la concentración de esfuerzos	<ul style="list-style-type: none"> • Muy baja velocidad de traslado y giros. • Se requieren para trabajar en superficies previamente preparadas. • Es una de las opciones más caras del mercado.
DIEHL 570F (Tanque Leopard II)	6 Rodado, posee un bajo mantenimiento y larga vida útil al poseer elementos de desgaste, lo que le permite gran velocidad y maniobrabilidad 7 Fácil reparación en terreno, bajo MTTR	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñado para transporte liviano y ágil, no hay indicios de uso de este tipo de equipo • Tecnología no disponible en la industria debido a fines militares

6.4. Alternativas de mejoras en tren de oruga para Sistema de Rodado PV351 disponibles por proveedores OEM.

Este Capítulo está enfocado en presentar las alternativas disponibles en el mercado al rodado CAT375, principalmente en las mejoras en eslabones y zapatas, debido a que poseen un comportamiento de fallas crónico y agudo. Como base se utilizan las oportunidades encontradas en las Palas electricas 4100XPC, la Excavadora CAT375 y el Tanque Leopard II. Ahora se revisan las propuestas disponibles en el mercado y que son compatibles con la perforadora PV351, tomando como base las oportunidades que se presentan en la Tabla VII-3.

Como antecedente, el tren de oruga original cuenta con un sistema de cadenas simple, en donde se conectan los eslabones mediante pasadores. Utiliza zapatas con triple garra fijadas con pernos. Este sistema ha sido descrito en mayor detalle en la Sección 4.3.2. El costo de la actual cadena, como se muestra en la Figura 50, muestra que la cotización tiene un precio Neto de 51 millones de pesos chilenos, y según el historial de esta cadena su duración ha sido de 10.000 horas, siendo que debiese durar como mínimo 16.000 horas.

Ln	Número Art	Descripción	Cant Cotizada	UM	Precio	Precio Neto	dias
1	174-0216/411	CADENA CAT-385 65 SECC.	2,00	CU	25.494.000	50.988.000	
		Cadenas con zapatas montadas de 65 secciones para perforadora PV 351 (Selladas) Procedencia Italia Garantia 1.800 Hrs. Entrega 07 días, previa recepcion de O/C *****					
					NETO :	\$50.988.000	
					IVA :	\$9.687.720	
					TOTAL :	\$60.675.720	

Figura 51. Presupuesto cadena CAT 375 de 65 secciones. [Fuente: Cotización ART 174-0216/411 entregada por el proveedor CAT]

Una vez en conocimiento las características técnicas y económicas actuales del rodado de la Perforadora PV351, se indagan en el mercado formal, encontrando las siguientes alternativas compatibles con la Perforadora 18, analizadas en las secciones subsiguientes:

- Rodado Original CAT con zapatas de dos garras y pasadores PPR2
- Rodado con zapatas L&H sin garras

6.4.1. Cadena Sellada y Lubricada CAT con pasadores de retención positiva PPR2 y una garra.

La cadena PPR2, consiste en una cadena sellada y lubricada, que en su diseño incluye unos anillos metálicos de retención, eliminando el juego axial y en consecuencia el desplazamiento del pasador. Además se integra la tecnología PPR2 que produce los siguientes efectos positivos en el rodado:

- La Cadena Sellada y Lubricada CAT sella el lubricante del sistema del tren de rodaje e impide la entrada de materiales abrasivos.
- Elimina el desgaste de los pasadores internos y de los bujes para prolongar la vida útil de la cadena
- Los anillos metálicos de retención de la cadena PPR2 permiten eliminar el juego axial y el “desplazamiento del pasador”.
- Los anillos también aseguran un buen ajuste entre el sello y el buje (sin filtraciones)

Esta opción se aplicaría en la perforadora PV351, usando la misma estructura actual del rodado, pero se cambiarían a zapatas con dos garras. Este tipo de cadena ya está en operación en Minera Andina en una perforadora PV351, donde a la fecha se han disminuido casi a cero las fallas asociadas a desplazamiento de pasadores.

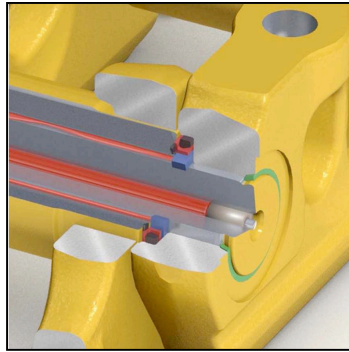


Figura 52. Estructura interna pasador PPR2 [Fuente: A Complete Guide to Caterpillar® Undercarriage Systems, Finning Review 2013]

Modificación de zapata: En la actualidad, el equipo dispone de zapatas con triple garra perforadas, de un ancho de 750 mm. En lo posible se sugiere aumentar el ancho de las zapatas de 750 a 850 mm, para aumentar la flotabilidad del componente y minimizar los esfuerzos que son transmitidos, así como también disminuir la cantidad de garras de las zapatas para no concentrar esfuerzos en los giros. Lamentablemente Caterpillar no ofrece zapatas perforadas con garra doble y simple con ese ancho y para este modelo de equipo. Solo la versión de 750 mm que es mostrada en la Figura 52.

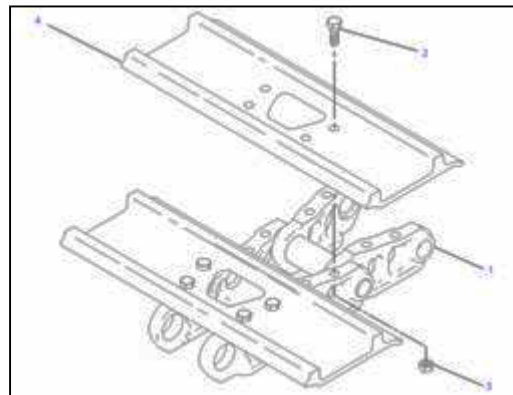


Figura 53. Imagen de zapata de 750 mm, doble garra. [Fuente: Manual de Partes USER 9068]

Por lo tanto, al implementar en conjunto la cadena PPR2 y las zapatas más anchas, se estarían atacando cada uno de los tipos de falla, que actualmente están presentando en la perforadora. Al no existir en el mercado formal, se deben incurrir en gastos extras, lo cual no es la intención de este Trabajo de Título, ya que se pretende dar solución con la mínima utilización de recursos adicionales.

En cuanto a los costos de la cadena PPR2, se presentan 3 alternativas, que se muestran en la cotización enviada por el proveedor de la Figura 53, la cual difieren en el ancho de la zapata, debido a que entrega mayor superficie de flotación, por lo que la alternativa que se maneja son con las zapatas idénticas a las actuales, es decir, aquellas de 750 mm de ancho, las cuales tienen un valor de 75 millones de pesos chilenos.

Presupuestos para las distintas alternativas de cadenas, perforadora PV351				
Alternativa PPR2 con zapata de una garra y 650 mm de ancho				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT. REF.	Total Unitario	TOTAL
1	TOTAL MANO DE OBRA (\$Chi)	2	878.319	1.356.638
2	TOTAL MISCELANEOS	2	129.548	259.097
3	TTA	2	457.031	914.063
4	REPUESTOS	2	35.092.534	70.185.068
TOTAL (\$Chi)				72.714.865
Alternativa PPR2 con zapata de dos garras y 650 mm de ancho				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT. REF.	Total Unitario	TOTAL
1	TOTAL MANO DE OBRA (\$Chi)	2	878.319	1.356.638
2	TOTAL MISCELANEOS	2	129.548	259.097
3	TTA	2	457.031	914.063
4	REPUESTOS	2	34.690.789	69.381.538
TOTAL (\$Chi)				71.911.335
Alternativa PPR2 con zapata de dos garras y 750 mm de ancho				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT. REF.	Total Unitario	TOTAL
1	TOTAL MANO DE OBRA (\$Chi)	2	878.319	1.356.638
2	TOTAL MISCELANEOS	2	129.548	259.097
3	TTA	2	457.031	914.063
4	REPUESTOS	2	35.831.259	71.662.518
TOTAL (\$Chi)				74.192.315

Figura 54. Presupuesto Finning con pasadores PPR2 y distintos tipos de zapatas.

[Fuente: Cotización entregada por el proveedor L&H Industrial]

La empresa Finning, destaca que ofrecerán una garantía de 18.000 horas, lo que es bastante mayor a la actual vida útil esperada y unas 8.000 horas adicionales respecto a la media de cambio de la cadena actual.

6.4.2. Omega Undercarriage (Proveedor L&H Industrial).

La propuesta entregada por L&H son zapatas de tipo planas, idénticas a las mostradas en la Figura 54 y de características similares a las usadas en Palas eléctricas, que otorgan mayor flotación al equipo y por ende una mejor distribución de las cargas en las zapatas. Este tipo de Cadena permite además no alterar el bastidor Caterpillar 375 debido a que está diseñada para un montaje directo con la cadena del OEM.



Figura 55. Cadena L&H para modelo CAT375, con zapatas planas. [Fuente: L&H, “Shovels Products”. Catálogo de productos L&H para la Minería]

Este modelo de cadena presenta variadas mejoras, que solucionan las causas raíces entregadas por el Árbol de Falla, algunas de las más importantes son las siguientes

- Biselado cara de contacto (Figura 55).
- Reducción de la carga en las guías
- Proporciona un borde de acoplamiento menos grave cuando la oruga realiza un giro.
- Reemplazo directo
- Compatible con OEM (Figura 56)
- Hardware de montaje Standard

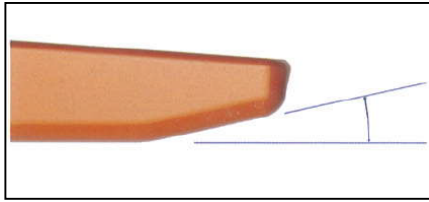


Figura 56. Biselado de zapata L&H en vista frontal. [Fuente: L&H, “Shovels Products”. Catálogo de productos L&H para la Minería]

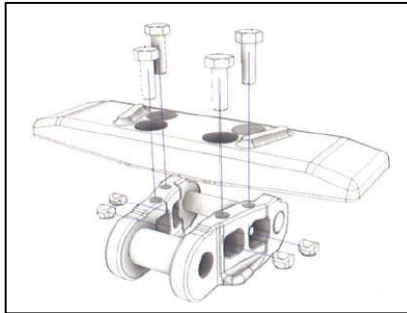


Figura 57. Acoplamiento directo. [Fuente: L&H, “Shovels Products”. Catálogo de productos L&H para la Minería]

En este modelo a diferencia de la zapata de Finning, se permite el aumento del ancho de las zapatas, lo que mejora ostensiblemente la flotación reduciendo la tensión transmitida en la cadena, entre eslabones o *links* y la presión que se ejerce sobre el suelo, debido que el peso del equipo se distribuye más uniformemente sobre la superficie de la zapata, como se muestra en la Figura 57.

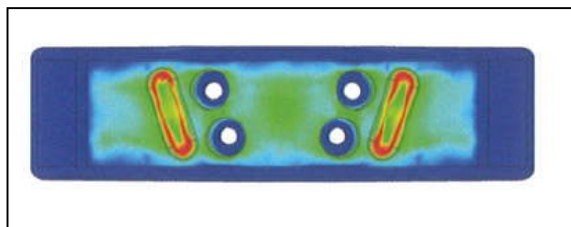


Figura 58. Distribución de esfuerzos sobre una Zapata L&H para Perforadoras PV351. [Fuente: L&H, “Shovels Products”. Catálogo de productos L&H para la Minería]

El costo de implementar la cadena L&H llega a los 122 millones de pesos chilenos, según cotización enviada por proveedor, la cual se puede observar en la Figura 58. El valor representa un alto riesgo económico, considerando que ofrecen una garantía total de 12.000 horas, un poco más de lo que ha durado la actual cadena.

Ítem	Descripción	GARANTÍA	Nº de parte	Nº de parte del cliente	Cantidad	unitario USD	extendido USD
1	Links de la cadena con kit de pasadores	7500 FULL - 1200 PRORRATEADO HORAS	LHMD1730	S022215MOD-MANG	110	\$ 1.247,00	\$ 137.170,00
2	drive tumbler	5000 HORAS	LHP1196	E019376-02	2	\$ 11.245,00	\$ 22.490,00
3	Zapatas 850 mm	15000 HORAS PROPEL	LHMD1912-001C	57730038MOD	130	\$ 597,00	\$ 77.610,00
						total repuesto	\$ 237.270,00
4	MANO DE OBRA				2	678,319	1356,638
						total Proyecto USD	\$ 238.626,64
						total Proyecto CLP	\$ 122.415.465,29

Figura 59. Presupuesto cadena con zapatas planas L&H. [Fuente: Cotización entregada por el proveedor L&H]

6.5. Recomendación sobre el Rediseño del Tren de Oruga.

Los principales modos de fallas de la cadena, están relacionados con los sobreesfuerzos de sus componentes, siendo los más afectados las zapatas y pasadores como fue establecido en el Capítulo 4. Con estos antecedentes se solicitan soluciones a las empresas proveedoras de CMDIC, dando paso a una serie de soluciones de rediseño, las cuales fueron analizadas en conjunto con los especialistas del área y proveedores. Las opciones elegidas como posibles de llevar a cabo, principalmente por su confiabilidad medida en horas, estudios de respaldo, garantía de sus empresas y viabilidad en el corto plazo son en primer lugar, una cadena de dos garras con pasadores PPR2 Modelo CAT375 y la segunda, una cadena de zapatas planas modelo OMEGA de L&H.

La mejor opción que muestra el mercado en cuanto a la confiabilidad teórica en la cadena, es el rodado OMEGA debido a su mejor tratamiento de los esfuerzos, pero que tiene un valor de implementación de casi 50 millones de pesos chilenos por sobre la cadena CAT 375, razón que ocasiona que sea descartada, debido a que en las consideraciones planteadas para que la reingeniería sea viable, es que utilice los mínimos recursos disponibles.

Se opta por la implementación de la cadena CAT con una garra menos y con el sistema PPR2 de pasadores sellados y lubricados internamente que elevan a 18.000 la vida útil garantizada por el proveedor, la cual ya ha sido probada en otras faenas con éxito. Además que posee un costo similar a la actual oruga.

7. Modificación en la configuración hidráulica del Sistema de Tensado Automático.

Con el fin de abarcar todas las aristas encontradas en el AAF, en esta sección se propone una solución para evitar el sobre tensado detectado en la cadena de oruga. Esta situación se establece como una causa raíz del corte de cadena en la perforadora, según el Diagrama en el Anexo 6.

7.1. Funcionamiento del Sistema de Tensado Automático.

El Sistema de Tensado de la Perforadora PV351 es de tipo automático, el cual se activa directamente cuando se da arranque al Motor Diésel. El Principio de funcionamiento se basa en la transmisión del movimiento desde el motor a través de una caja PTO (*Power Take-Off*) hacia el conjunto de bombas, siendo la bomba auxiliar del lado no cabina, la cual recibe el movimiento del cuerpo P1 que a la vez hace girar mediante un eje solidario a P2. El cuerpo P2 de la bomba doble impulsa flujo hacia los siguientes sistemas auxiliares:

- Pilotajes asociados a la válvula Drill/Propel
- Sistema de inyección del sistema de lubricación
- Motor del sistema de aire acondicionado
- Movimientos de escalera lado cabina y lado no cabina
- Sistema de tensado automático de cables pullback
- Sistema de tensado automático de orugas ambos bastidores

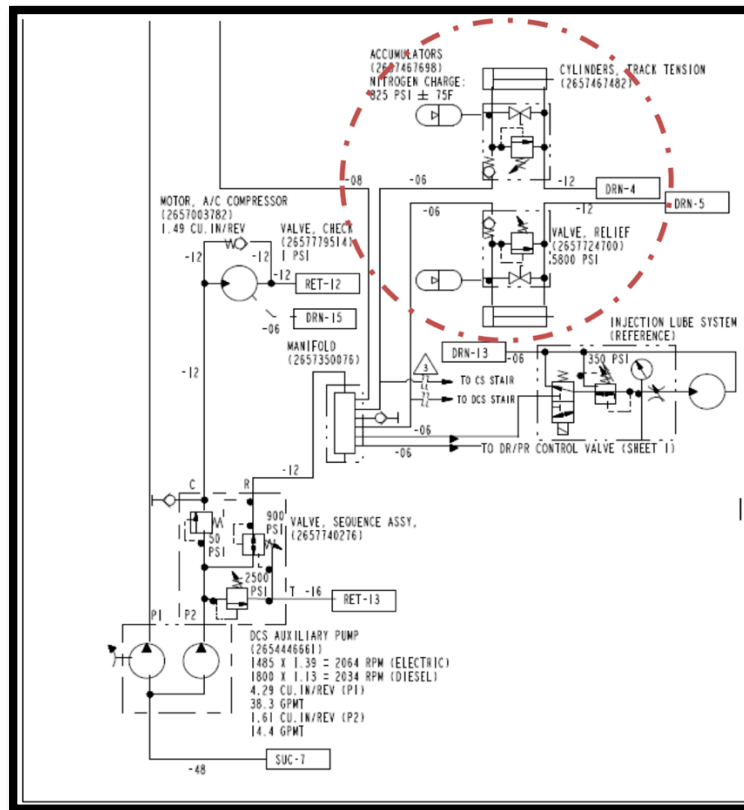


Figura 60. Sistemas alimentados por bomba doble auxiliar [Fuente: Plano Hidráulico contenido en el manual de partes de la Perforadora N^a18]

Tal como se aprecia en la Figura 59, en P2 se encuentra también una válvula de secuencia, que en la salida R logra una presión de 900 PSI, esta línea llega a un manifold que alimenta varios sistemas, y desde donde nacen dos flexibles de 6" que alimentan los cilindros de tensión de oruga derecha e izquierda, pasando antes por los acumuladores de nitrógeno que sirve para amortigar los impactos recibidos por la oruga o peaks de tensado durante el proceso por variaciones en la presión del sistema. El sistema de tensado, consta principalmente de un cilindro tensor por cada lado de la oruga el cual una vez comienza la alimentación de P2 se activa, realizando un moviendo la rueda tensora, ajustando ambas oruga. Existe también, en el sistema una válvula antirretorno y una válvula de alivio la cual opera cuando en sistema alcanza los 5.000 PSI.

7.2. Antecedentes de la Falla.

Gracias a las investigaciones realizadas en en Análisis de Árbol de Falla, se puede establecer de forma empírica, que se observan cadenas con exceso de tensado. El tensado adecuado de una cadena para el modelo CAT 375, debe ser mediante una holgura del 5%, de la longitud que se produce al trazar una línea recta tangente a la rueda tensora y el primer rodillo superior, como se muestra en la Figura 60. En terreno se observa que esta holgura reiteradamente se encuentra con medidas menores a 1". La presente situación, es algo que los mantenedores indican como raíz de los problemas de sobre tensado de la oruga, corroborando las situación técnica expuesta.

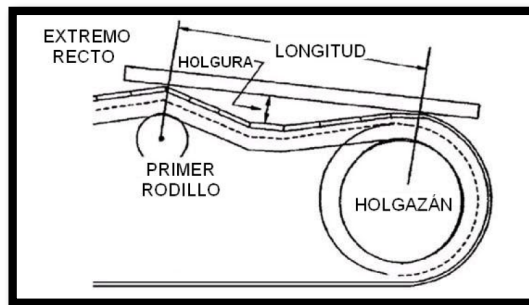


Figura 61. Procedimiento de ajuste adecuado de la cadena. [Fuente: Manual de Instrucciones, operación y mantenimiento de Perforadora PV351]

Se ha intentado reducir los 900 PSI desde la válvula de secuencia que se encuentra en la salida de la bomba doble, con el fin de encontrar una holgura según lo estipulado por el Manual de Instrucciones del Equipo, pero cuando se bajan los 700 PSI, se detecta que empieza a fallar el Sistema Centralizado de Lubricación que se encuentra alimentado por la misma línea, así como podría presentar problemas para los pilotajes realizados por la válvula Drill/Propel una de las más importantes para el funcionamiento del equipo. Es por esta situación que se ha preferido trabajar muchas veces con un sobretensado para no afectar otros componentes del equipo, en desmedro del daño provocado en la oruga.

7.3. Propuesta de mejoramiento del Sistema de Tensado de la Cadena.

Para evitar la sobretensión de la oruga, se propone instalar una válvula reguladora de presión con un rango de 300 psi a 1.000 psi, que permita reducir la presión en el sistema de tensado. Junto con esto se debiesen realizar pruebas en movimiento con el equipo, con el fin de mediante un estudio empírico determinar cual es la presión óptima en las condiciones del terreno evaluadas para una Holgura adecuada de la cadena. Por razones de operatividad, la empresa no permite este tipo de análisis experimentales, por los tiempos implicados y ya que afectan directamente a la producción. Aún así, es conveniente realizar la modificación debido a su bajo costo de implementación, y muy bajo riesgo de en la operación.

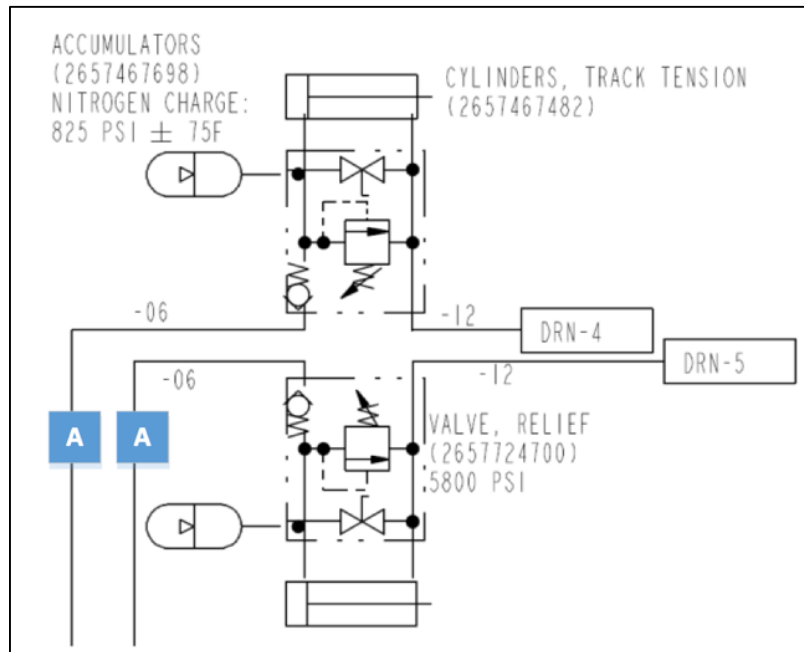


Figura 62. Descripción general del plano hidráulico del Sistema de Tensado de la Cadena, en donde se detalla la propuesta de mejora [Fuente: Plano Hidráulico contenido en el manual de partes de la Perforadora N^o18, adaptación]

En el diagrama de la Figura 61, el bloque A, consta de una válvula reguladora de presión configurada a una presión por definir, la cual debe ser especificada en las pruebas realizadas en terreno, junto con un manómetro o un punto de testeo para verificar la presión de entrada al Sistema de Tensado de la Cadena (ver Figura 62). Las pruebas requieren de un monitoreo y autorización por parte de operaciones, las cuales en frente de los beneficios entregados, deben planificarse adecuadamente.

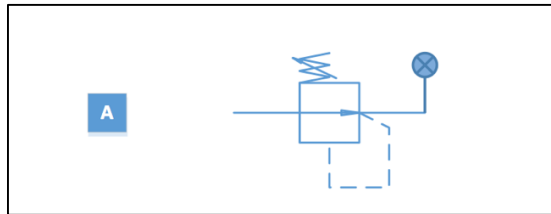


Figura 63. Descripción de los componentes que conforman el Bloque A, en la mejora propuesta para el Sistema de Tensado de la Cadena [Fuente: Elaboración Propia]

La configuración corregida que se muestra en la Figura 61 y 62 permite ajustar el tensado de las orugas a una presión adecuada, dependiendo de las solicitudes que existen en terreno, y se logra de esta manera, que el equipo cumpla con la Holgura recomendada, eliminando el desgaste sobre los componentes del tren de oruga que provoca el sobre tensado.

CONCLUSIONES

El presente Trabajo de Título tiene por objetivo impulsar el mejoramiento del desempeño de confiabilidad de la perforadora PV351, lo cual se logra por dos vías:

1. Mejorar las estrategias de mantenimiento, basado en un análisis RCM, para disminuir las fallas no programadas.
2. Evaluar la implementación de procesos de reingeniería a componentes crónicos y agudos del sistema de Propulsión y Rodado, con el fin de extender la vida útil de los componentes del Sistema de Propulsión y Rodado.

Mediante la metodología MCC se ha establecido incorporar para los modos de fallas con un alto valor de índice RPN actividades de monitoreo, con el fin de detectar algún indicio de un daño catastrófico en el tren de oruga antes que se produzca la falla por imprevisto. El monitoreo preventivo permite mantener bajo control las intervenciones no programadas asociadas a eslabones de oruga y zapatas, que representan un 63% (444 horas) del tiempo de detención no programado. Con la aplicación de las estrategias de mantenimiento recomendadas, se espera un incremento de la disponibilidad del sistema de P&R de un 6%.

Luego, para evitar el desgaste prematuro de los componentes del tren de oruga, principalmente eslabones y zapatas, se deben llevar a cabo las dos recomendaciones de rediseño. La primera, es la implementación de una modificación en el sistema de tensado automático de ambos bastidores, la cual, requiere de solo dos válvulas reguladoras de presión, los acoplamientos adecuado y una intervención que no debiese ser utilizar mas de cuatro HH. Esta mejora permite aminorar el desgaste de los eslabones de oruga, acinturamiento de pasadores y daño en zapatas, así como también permiten extender la vida útil de la rueda motriz. De esta manera se controla la causa raíz relacionado con el sobre tensado de la cadena. Esta modificación no se ha llevado a cabo en otras faenas o equipo similares, y por lo tanto, se debe realizar pruebas para evaluar los resultados de éxito.

La segunda mejora recomendada posee un mayor impacto y se basa en migrar de una oruga CAT 375 simple a una cadena sellada CAT 375 con PPR2 con una garra menos, cuyos resultados ya han sido probados en otras faenas, en específico, en Minera Escondida estableciendo que estos rodados tienen una vida útil media probada de 18.000 horas, lo que coincide con la garantía que entrega el proveedor.

La realización de estas actividades proactivas, permiten una mejora en lo inmediato de un 6% de disponibilidad teórica, logrando como sistema aislado una disponibilidad de un 97%. Junto con la mejora en disponibilidad el porcentaje de tiempo fuera de servicio que acumula el sistema de P&R bajaría de un 38% (703 horas) a un 14% (259 horas), tomando en consideración el desempeño actual del Sistema.

Por otro lado se espera un aumento en el largo plazo de 8.000 horas de vida útil, es decir, aproximadamente un 80% de incremento de la vida útil para los trenes de oruga con la implementación de la cadena PPR2 y la modificación del sistema de tensado automático.

Se impulsa con las actividades antes mencionadas un mejoramiento global de los componentes, tanto en disponibilidad como en confiabilidad del sistema de Propulsión y Rodado y por consecuencia de la perforadora, ya que casi el 40% de las detenciones del equipo son debidas al Sistema P&R.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BNAMERICA, Compañía Minera doña Inés de Collahuasi SCM [En línea] <http://www.bnamericas.com/companyprofile/es/Compania_Minera_Dona_Ines_de_Collahuasi_SCM-Collahuasi> [consulta: 4 de octubre de 2013]
- [2] COLLAHUASI, Página principal Collahuasi, historia [En línea] <<http://www.collahuasi.cl/espanol2/compania/historia.asp>> [consulta: 4 de octubre de 2013]
- [3] DIRECMIN, Descripción de Empresas; Minera Collahuasi [En línea] <http://www.direcmin.com/_file/reportajes/minera-collahuasi.pdf> [consulta: 6 de octubre de 2013]
- [4] CONCHA, miguel. Collahuasi reactivaría proyecto por US\$6.500 millones en julio de 2013 [En línea], Revista Economía y Negocios, viernes, 04 de enero de 2013 <<http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=104439>> [consulta: 7 de octubre de 2013]
- [5] COMPAÑÍA Minera Doña Inés de Collahuasi, Reporte anual de desarrollo sustentable 2010. Iquique, Chile. Julio 2011.
- [6] ATLAS Coco Drilling Solutions, LLC, Manual de instrucciones MODELO: PV351 Diésel con RCS y EARS. 2100 North First Street Garland, Texas, 75040, Rev. 001 Última revisión 12-01-2011.
- [7] MUÑOZ, Enrique. “Terminología del mantenimiento i: norma en-13360 frente a norma AFNOR NFX 60-010” [en línea] <<http://blog.enrimusa.com/terminologia-del-mantenimiento>> [consulta: 27 de Agosto de 2013]
- [8] PICKNELL, Jim. Is RCM the right tool for you? En: CAMPBELL, John “The Reliability Handbook”, Burlington, Ontario. A Clifford/Elliot Publication Volume 23, Issue 6 December 1999, pp.23-36

- [9] MANBRAY, John. "Maintenance Centered in Reliability" 2da edición ., NY, Estados Unidos. Industrial Press, 1997. 440 p ISBN 8311-3078-4
- [10] SOCIETY of Automotive Engineers. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes, SAE JA1011. USA, Agosto 1999. 10 p
- [11] SOCIETY of Automotive Engineers. A Guide to Reliability-Centered Maintenance (RCM), SAE JA1012. USA, Edición en español, 2004.
- [12] ALLENDES, Renato & Villalobos, Humberto. Apunte Oficial MAT031. UTFSM, Valpo. 2010
- [13] MANTENIMIENTO mundial. Indicadores de Clase Mundial [En línea] <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/calculos/clase-mundial.asp> [25 octubre 2013]
- [14] FUNDIBEQ. El Diagrama de Pareto [En línea] <http://www.suagm.edu/umet/biblioteca/Reserva_Profesores/alicia_gonzalez_educ_525/diagrama_de_pareto.pdf> [Consulta: 16 de noviembre 2013]
- [15] KNIGHTS, Peter F., "Downtime Priorities Jack Knife diagram and Business Cycle" Associate Professor, Mining Centre, Faculty of Engineering, PUC. Santiago, Chile.
- [16] STIER, Otto. Capitulo III: Análisis de Modo de Fallas y sus Efectos. En su Curso RCM, Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Ñuñoa, Santiago de Chile. 03 de Septiembre de 2012. 42 p
- [17] HAASL David F. ROBERTS, Norman H. VESELY William E. And GOLDBERG Francine F. "Fault Tree Handbook" U.S Nuclear Regulatory Commission, Division of Systems & Reliability Research, Washington DC 20555, January 1981. Reporte NUREG-0492

- [19] STIER, Otto. Capitulo IV: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). En su: Curso RCM, Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Ñuñoa, Santiago de Chile. 03 de Septiembre de 2012. 108 p
- [20] VIVEROS Pablo & Stegmaier Raúl. Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. Rev. chil. ing. vol.21 n°1 Arica, Abril 2013.
- [21] NOWLAN, F. Stanley, y Howard F. Heap, “Reliability-Centered Maintenance,” Departamento de Defensa, Washington, D.C. 1978. Reporte Número AD-A066579.
- [22] PASCUAL, Rodrigo. “Apuntes del curso ME57A, Mantención de Maquinaria”, Universidad de Chile , Santiago de Chile 2002.
- [23] LYONNET P. “Maintenance Planing. Methods and Mathematics”. Chapman & Hall, 1991
- [24] ANDES GROUP, “Curso especializado en RCM II”, basado en el Manual de Confiabilidad 2013. Santiago, Chile. Mahuida Ltda.
- [25] CATERPILLAR Inc. “A Complete Guide to Caterpillar® Undercarriage Systems”, Review 2013.
- [26] CATERPILLAR Inc. “ A Performance Handbook”, Folleto de presentación, Edición 29.
- [27] DIEHL, Defence Land Systems. “The DIEHL System Track 156 C for BMP 1&2 MT-LB, 2S1”. Diehl Defence Holding GmbH, Código Postal 10 12 55. Überlingen, Alemania.
- [28] Leopard II. (2016, 25 de Julio). En Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado el 25 de Julio de 2016 a las 13:50 de <https://es.wikipedia.org/wiki/Leopard_2>.

- [29] L&H, “Shovels Products”. Catálogo de productos L&H para la Minería”.
L&H Chile, 18 de Septiembre #490, Antofagasta, Chile.qq

ANEXOS

Anexo 1: Hoja AMEF.

Tabla 23. AMEF Perforadora N°18 [Fuente: Elaboración Propia]

HOJA DE ANALISIS AMEF		EQUIPO		N° DOCUMENTO		REALIZADO POR		GERENCIA DE MATENCIÓN MINA SI PLANIFICACIÓN	
		Perforadora N°18, PV-351		1		Francisco García			
		SISTEMA		FECHA		REVISADO POR			
		Rodado y Propulsión		19-08-2013		Leonardo Zepeda			
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		OCURRENCIA	TIPO DE FALLA	EFFECTO DE LA FALLA	
FP	"Permitir el desplazamiento de la perforadora PV351 con un rango de velocidad de propulsión de 0 a 1.77 km/h" (FP) FP1	FFP1	Imposibilidad de permitir el desplazamiento de la perforadora [falla total asociada a la FP]	Bomba de Propulsión	1.A.1	Presión hidráulica inexistente por falla en el sistema hidráulico central	Baja	O	Bomba entrega bajo flujo
					1.A.2	Desgaste de mecanismo interno	Baja	O	Bomba da un bajo rendimiento volumétrico, no permite el movimiento del equipo
					1.A.3	Ruptura o fugas en mangueras y conexiones en la entrada de la bomba	Baja	E	Hay una baja de presión en las líneas por lo que no se entrega la presión adecuada. Puede no permitir el movimiento del equipo. Además se produce pérdida del fluido hidráulico

				Motor de Propulsión	1.B.1	Fracturas en Sprocket	Baja	O	Provoca desgaste prematuro de los eslabones de las zapatas
					1.B.2	Presión hidráulica inexistente por falla en Bomba PTO	Baja	O	Bomba entrega bajo flujo, motor no funciona
					1.B.3	Ruptura o fugas en mangueras y conexiones de entrada del motor de propulsión	Baja	E	Hay una baja de presión en las líneas por lo que no se entrega la presión adecuada. Puede no permitir el movimiento del equipo. Además se produce pérdida del fluido hidráulico
					1.B.4	Desgaste prematuro de componentes internos del motor	Baja	O	Bomba da un bajo rendimiento volumétrico, no activa el motor propel y el equipo no puede moverse
				Rueda Motriz	1.C.1	Desgaste prematuro de la rueda tensora por falla de buje o pasador	Baja	O	No transmite de forma adecuada el movimiento a la cadena, provoca desgaste excesivo y/o fisuras en los eslabones de las zapatas
					1.C.2	Desgaste prematuro de la rueda propulsora por falla de buje o pasador	Baja	O	No transmite de forma adecuada el movimiento a la cadena, provoca desgaste excesivo y/o fisuras en los eslabones de las zapatas

				Rueda Tensora	1.D.3	Falla por fatiga de material en rueda tensora	Baja	O	No transmite de forma adecuada el movimiento a la cadena, provoca desgaste excesivo y/o fisuras en los eslabones de las zapatas
					1.D.4	Falla por fatiga de material en rueda propulsora	Baja	O	No transmite de forma adecuada el movimiento a la cadena, provoca desgaste excesivo y/o fisuras en los eslabones de las zapatas
				Válvulas y Sensores	1.E.1	Cortocircuito en bobinas	Alta	O	No acciona válvulas
					1.E.2	Fugas en válvula direccional de propulsión	Baja	O	Provoca falla a la transmisión de fluido al propel
					1.E.3	Fugas en válvula de tensado	Media	O	No se tensa la cadena adecuadamente
				Zapatas y Oruga	1.F.1	Corte en eslabón de cadena	Alta	E	Cadena queda fuera de operación y maquina no puede desplazarse
					1.F.2	Fisura en links de zapatas	Alta	E	Amenaza que implica atención inmediata, ya que la cadena podría cortarse dejando a la maquina con una falla mayor y fuera de operación
					1.F.3	Agrietamiento en pasadores	Alta	E	Amenaza que implica atención inmediata, ya que la cadena podría cortarse dejando a la maquina con una falla mayor y fuera de operación

					1.F.4	Aflojamiento de pasadores	Alta	E	Amenaza que implica atención inmediata, ya que la cadena podría cortarse dejando a la maquina con una falla mayor y fuera de operación
					1.F.5	Corte de pernos de amarre zapatas	Alta	E	Amenaza que implica atención inmediata, ya que la cadena podría cortarse dejando a la maquina con una falla mayor y fuera de operación
					1.F.6	Caída o corte de pernos por aflojamiento	Alta	E	Amenaza que implica atención inmediata, ya que la cadena podría cortarse dejando a la maquina con una falla mayor y fuera de operación
					1.F.7	Desgaste prematuro en zapatas	Alta	E	Amenaza que implica atención inmediata, ya que la cadena podría cortarse dejando a la maquina con una falla mayor y fuera de operación
		FFP2	El desplazamiento no puede alcanzar la velocidad máxima de 1,77 km/h [falla parcial asociado a la FP]	Bomba de Propulsión	2.A.1	Presión hidráulica inexistente por falla en el sistema hidráulico central	Baja	O	Bomba entrega bajo flujo
					2.A.2	Desgaste de mecanismo interno	Baja	O	Bomba da un bajo rendimiento volumétrico, no permite el movimiento del equipo
					2.A.3	Ruptura o fugas en mangueras y conexiones en la entrada de la bomba	Baja	E	Hay una baja de presión en las líneas por lo que no se entrega la presión adecuada. Puede no permitir el movimiento del equipo. Además se produce pérdida del fluido hidráulico

				Motor de Propulsión	1.B.1	Fracturas en Sprocket	Baja	O	Provoca desgaste prematuro de los eslabones de las zapatas
					1.B.2	Presión hidráulica inexistente por falla en Bomba PTO	Baja	O	Bomba entrega bajo flujo, motor no funciona
					2.B.3	Ruptura o fugas en mangueras y conexiones de entrada del motor de propulsión	Baja	E	Hay una baja de presión en las líneas por lo que no se entrega la presión adecuada. Puede no permitir el movimiento del equipo. Además se produce pérdida del fluido hidráulico
					2.B.4	Desgaste prematuro de componentes internos del motor	Baja	O	Bomba da un bajo rendimiento volumétrico, no activa el motor propel y el equipo no puede moverse
		FFP3	El desplazamiento se realiza fuera de rango, o alcanza velocidades superiores a 1,77 km/h. [falla parcial asociado a la FP]	Válvulas y Sensores	3.E.1	Cortocircuito en bobinas	Alta	O	No acciona válvulas
					3.E.2	Fugas en válvula direccional de propulsión	Baja	O	Provoca falla a la transmisión de fluido al propel
					3.E.3	Fugas en válvula de tensado	Media	O	No se tensa la cadena adecuadamente
					3.E.4	Caída de presión por contaminación en las líneas hidráulicas	Baja	O	Provoca desgaste prematuro de los eslabones de las zapatas

		FFS1-1	Los bastidores (Componente estructural de la oruga) no son capaces de soportar el peso del equipo [falla total asociado a la FS1]	Bastidores y Estructura	4.G.1	Fatiga del material del eje	Baja	E	Provoca un desequilibrio del equipo, puede implicar destensar las orugas
					4.G.2	Fisura de bastidores u componentes estructurales	Alta	E	Contribuyen a la fatiga del material, aunque no implican mayor riesgo debe evaluarse su evolución y tamaño
		FFS2-1	Los frenos del sistema de rodado no controlan la velocidad ni detienen el equipo [falla total asociado a la FS2]	Sistema de Frenos	5.H.1	Desregularización de freno	Baja	O	Equipo no frena adecuadamente y/o se produce el bloqueo del equipo
					5.H.2	Desgaste prematuro de mecanismo interno	Baja	O	Equipo no frena adecuadamente y/o se produce el bloqueo del equipo
					5.H.3	Desgaste de balatas	Baja	O	Freno con excesivo ruido, además que no hay un frenado adecuado.
					5.H.4	Caída de presión por falla en sistema hidráulico.	Baja	O	Bomba entrega bajo flujo

		FFS2-2	La reducción y/o frenado del equipo es deficiente [falla total asociado a la FS2]	Sistema de Frenos	6.H.1	Desregularización de freno	Baja	O	Equipo no frena adecuadamente y/o se produce el bloqueo del equipo
					6.H.2	Desgaste prematuro de mecanismo interno	Baja	O	Equipo no frena adecuadamente y/o se produce el bloqueo del equipo
					6.H.3	Desgaste de balatas	Baja	O	Freno con excesivo ruido, además que no hay un frenado adecuado.
					6.H.4	Caída de presión por falla en sistema hidráulico.	Baja	O	Bomba entrega bajo flujo

Anexo 2: Hoja de índice de Riesgo RPN

Tabla 24. RPN Perforadora N°18 [Fuente: Elaboración Propia]

HOJA DE ANALISIS RPN		EQUIPO			N° DOCUMENTO		REALIZADO POR		GERENCIA DE MANTENCIÓN MINA SI PLANIFICACIÓN		
		Perforadora N°18, PV-351			1		Francisco García				
		SISTEMA			FECHA		REVISADO POR				
		Rodado y Propulsión			19-08-13		Leonardo Zepeda				
MODO DE FALLA		RIESGO	INDICE RPN	DETECTABILIDAD (D)	OCURRENCIA (O)	SEVERIDAD (S)	S1	S2	S3	S4	S5
							Seguridad	MA	Producción	Tiempo Reparación	Costo de Reparación
							10%	10%	20%	30%	30%
1.F.7	Desgaste prematuro en zapatas	Alto	337,68	7	6	6,7	2	4	5	8	9
8.F.7	Desgaste prematuro en zapatas	Alto	337,68	7	6	6,7	2	4	5	8	9
1.F.1	Corte en eslabón de cadena	Alto	292,32	7	6	5,8	2	4	5	8	6
1.F.2	Fisura en links de zapatas	Alto	292,32	7	6	5,8	2	4	5	8	6
1.F.3	Agrietamiento en pasadores	Alto	292,32	7	6	5,8	2	4	5	8	6

1.F.4	Alojamiento de pasadores	Alto	292,32	7	6	5,8	2	4	5	8	6
8.F.1	Corte en eslabón de cadena	Alto	292,32	7	6	5,8	2	4	5	8	6
8.F.2	Fisura en links de zapatas	Alto	292,32	7	6	5,8	2	4	5	8	6
8.F.3	Agrietamiento en pasadores	Alto	292,32	7	6	5,8	2	4	5	8	6
8.F.4	Alojamiento de pasadores	Alto	292,32	7	6	5,8	2	4	5	8	6
1.F.5	Corte de pernos de amarre zapatas	Medio	231,84	7	6	4,6	2	4	5	8	2
8.F.5	Corte de pernos de amarre zapatas	Medio	231,84	7	6	4,6	2	4	5	8	2
4.G.2	Fisura de bastidores u componentes estructurales	Medio	203,04	6	6	4,7	4	1	6	6	4
1.F.6	Caída o corte de pernos por alojamiento	Medio	201,6	7	6	4	2	4	5	6	2
8.F.6	Caída o corte de pernos por alojamiento	Medio	201,6	7	6	4	2	4	5	6	2
1.A.2	Desgaste de mecanismo interno	Medio	187,92	9	3	5,8	2	4	5	6	8

1.B.4	Desgaste prematuro de componentes internos del motor	Medio	187,92	9	3	5,8	2	4	5	6	8
2.A.2	Disminución de caudal entregado por desgaste de mecanismo interno	Medio	187,92	9	3	5,8	2	4	5	6	8
2.B.4	Disminución del caudal que entrega por desgaste interno	Medio	187,92	9	3	5,8	2	4	5	6	8
4.A.2	Desgaste de mecanismo interno	Medio	187,92	9	3	5,8	2	4	5	6	8
5.B.4	Desgaste prematuro de componentes internos del motor	Medio	187,92	9	3	5,8	2	4	5	6	8
7.H.4	Caída de presión por fuga en sistema hidráulico central	Medio	169,92	8	3	5,9	3	4	5	6	8

3.E.4	Caída de presión por contaminación en las líneas hidráulicas	Bajo	144	10	3	4	2	4	5	6	2
1.E.2	Ruptura de válvula direccional de propulsión	Bajo	115,2	8	3	4	2	4	5	6	2
1.E.3	Ruptura en válvula de tensado	Bajo	115,2	8	3	4	2	4	5	6	2
3.E.2	Fugas en válvula direccional de propulsión	Bajo	115,2	8	3	4	2	4	5	6	2
3.E.3	Fugas en válvula de tensado	Bajo	115,2	8	3	4	2	4	5	6	2
11.E.2	Ruptura de válvula direccional de propulsión	Bajo	115,2	8	3	4	2	4	5	6	2
11.E.3	Ruptura en válvula de tensado	Bajo	115,2	8	3	4	2	4	5	6	2
4.G.1	Fatiga del material del eje	Bajo	101,76	8	2	5,3	4	1	6	6	6

1.A.1	Presión hidráulica Inexistente por fugas en el sistema hidráulico central	Bajo	100,8	7	3	4	2	4	5	6	2
1.E.1	Cortocircuito en bobinas	Bajo	100,8	7	3	4	2	4	5	6	2
2.A.1	Caída de presión del fluido hidráulica debido a fugas en el sistema hidráulico central	Bajo	100,8	7	3	4	2	4	5	6	2
3.E.1	Cortocircuito en bobinas	Bajo	100,8	7	3	4	2	4	5	6	2
4.A.1	Presión hidráulica inexistente por fuga en el sistema hidráulico central	Bajo	100,8	7	3	4	2	4	5	6	2
11.E.1	Cortocircuito en bobinas	Bajo	100,8	7	3	4	2	4	5	6	2
7.H.2	Desgaste prematuro de mecanismo interno	Muy Bajo	84,96	4	3	5,9	3	4	5	6	8
7.H.3	Desgaste de balatas	Muy Bajo	84,96	4	3	5,9	3	4	5	6	8

1.A.3	Ruptura o fugas en mangueras y conexiones en la entrada de la bomba	Muy Bajo	60,48	2	6	4,2	2	6	5	6	2
1.B.3	Ruptura o fugas en mangueras y conexiones de entrada del motor de propulsión	Muy Bajo	60,48	2	6	4,2	2	6	5	6	2
2.A.3	Fugas en mangueras y conexiones en entrada de la bomba de propulsión	Muy Bajo	60,48	2	6	4,2	2	6	5	6	2
2.B.3	Fugas en mangueras y conexiones en entrada de la bomba de propulsión	Muy Bajo	60,48	2	6	4,2	2	6	5	6	2
4.A.3	Ruptura o fugas en mangueras y conexiones en la entrada de la bomba	Muy Bajo	60,48	2	6	4,2	2	6	5	6	2

5.B.3	Ruptura o fugas en mangueras y conexiones de entrada del motor de propulsión	Muy Bajo	60,48	2	6	4,2	2	6	5	6	2
7.H.1	Desregularización de freno	Muy Bajo	59,04	4	3	4,1	3	4	5	6	2
1.B.1	Fracturas en Sprocket	Muy Bajo	57,6	2	6	4	2	4	5	6	2
2.B.1	Desgaste en Sprocket	Muy Bajo	57,6	2	6	4	2	4	5	6	2
5.B.1	Fracturas en Sprocket	Muy Bajo	57,6	2	6	4	2	4	5	6	2
1.B.2	Presión hidráulica inexistente por Desgaste de Bomba PTO	Muy Bajo	46,08	2	3	6,4	2	4	5	8	8
1.C.1	Desgaste prematuro de la rueda propulsora por fractura de buje o pasador	Muy Bajo	46,08	2	3	6,4	2	4	5	8	8
1.C.2	Fatiga de material en rueda propulsora	Muy Bajo	46,08	2	3	6,4	2	4	5	8	8

1.D.1	Desgaste prematuro de la rueda tensora por fractura de buje o pasador	Muy Bajo	46,08	2	3	6,4	2	4	5	8	8
1.D.2	Fatiga de material en rueda tensora	Muy Bajo	46,08	2	3	6,4	2	4	5	8	8
2.B.2	Caída del flujo entregado por Desgaste en la Bomba PTO	Muy Bajo	46,08	2	3	6,4	2	4	5	8	8
5.B.2	Presión hidráulica inexistente por desgaste en Bomba PTO	Muy Bajo	46,08	2	3	6,4	2	4	5	8	8
6.C.1	Desgaste prematuro de la rueda propulsora por fractura de buje o pasador	Muy Bajo	46,08	2	3	6,4	2	4	5	8	8
6.C.2	Fatiga de material en rueda propulsora	Muy Bajo	46,08	2	3	6,4	2	4	5	8	8
9.D.1	Desgaste prematuro de la rueda tensora por fractura de buje o pasador	Muy Bajo	46,08	2	3	6,4	2	4	5	8	8

9.D.2	Fatiga de material en rueda tensora	Muy Bajo	46,08	2	3	6,4	2	4	5	8	8
-------	-------------------------------------	-----------------	-------	---	---	-----	---	---	---	---	---

Anexo 3: Hoja MCC

Tabla 25. MCC Perforadora N°18 [Fuente: Elaboración Propia]

HOJA DE ANALISIS RCM		EQUIPO/SISTEMA	N° DOCUMENTO	REALIZADO POR	GERENCIA DE MATENCIÓN MINA		
		Perforadora N°18, PV-351	1	Francisco García			
		TAG	FECHA	REVISADO POR	SI PLANIFICACIÓN		
		Rodado y Propulsión	19-08-13	Leonardo Zepeda			
Modo de Falla		CONSECUENCIA		ACTIVIDAD	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR	FRECUENCIA	PERSONAL
1.F.7	Desgaste prematuro en zapatas	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este		Rediseño	Cambio de cadena a PPR2 para abarcar el subdiseño del rodado CAT 375	18.000 horas	4 mecánicos y 1 electrico
1.F.1	Corte en eslabón de cadena	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este		Tarea según condición	Inspección de alojamientos de zapatas y alojamientos de pernos	500 horas	1 mecánico

1.F.2	Fisura en links de zapatas	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este	Tarea según condición	Buscar fisuras mayores a un milímetro en zapatas	500 horas	1 inspector, 1 mecánico
1.F.3	Agrietamiento en pasadores	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este	Tarea según condición	Buscar fisuras mayores a un milímetro en pasadores de forma visual y realizar ultrasonido a pasadores, si se encuentra fisuras internas del pasador mayores a 1 milímetro, se debe cambiar pasador.	500 horas	1 inspector, 1 mecánico
1.F.4	Aflojamiento de pasadores	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este	Tarea según condición	Ultrasonido e Inspección Visual	500 horas	1 inspector, 1 mecánico
8.F.6	Caída o corte de pernos por aflojamiento	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este	Tarea según condición	Ultrasonido e Inspección Visual	500 horas	1 inspector, 1 mecánico

8.F.7	Desgaste prematuro en zapatas	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este	Rediseño	Ultrasonido e Inspección Visual	500 horas	1 inspector, 1 mecánico
9.D.1	Desgaste prematuro de la rueda tensora por fractura de buje o pasador	Se produce un daño progresivo a la cadena, que podría provocar el corte de esta. Por lo tanto una falla catastrófica para el equipo y la producción	Tarea según condición	Ultrasonido e inspección visual/ Programar cambio de ser necesario	2000 horas	1 inspector, 1 mecánico
9.D.2	Fatiga de material en rueda tensora	Se produce un daño progresivo a la cadena, que podría provocar el corte de esta. Por lo tanto una falla catastrófica para el equipo y la producción	Tarea según condición	Ultrasonido e inspección visual/ Programar cambio de ser necesario	2000 horas	1 inspector, 1 mecánico
1.F.5	Corte de pernos de amarre zapatas	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este	Tarea según condición	Ultrasonido e Inspección Visual	500 horas	1 inspector, 1 mecánico

4.G.1	Fatiga del material del eje	La Oruga puede destensarse y sufrir descarrilamiento, además puede provocar inestabilidad y exceso de vibraciones	Preventivo	Hacer inspección visual según pauta mecánica, realizar inspecciones de ultrasonido, tintas penetrantes y algún otro de requerirse	500 horas	1 inspector y 1 Soldador
6.C.1	Desgaste prematuro de la rueda propulsora por fractura de buje o pasador	Se produce un daño progresivo a la cadena, que podría provocar el corte de esta. Por lo tanto una falla catastrófica para el equipo y la producción	Tarea según condición	Ultrasonido e inspección visual/ Programar cambio de ser necesario	2000 horas	1 inspector, 1 mecánico
1.F.6	Caida o corte de pernos por aflojamiento	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este	Tarea según condición	Ultrasonido e Inspección Visual	500 horas	1 inspector, 1 mecánico
4.G.2	Fisura de bastidores u componentes estructurales	Un exceso de fisuras, pueden provocar la falla de la estructura, provocando las mismas consecuencias q el modo 4.G.1	Tarea según condición	Hacer inspección visual según pauta mecánica, realizar inspecciones de ultrasonido, tintas penetrantes y algún otro de requerirse	500 horas	1 inspector y 1 Soldador

1.A.2	Desgaste de mecanismo interno	Se detiene el equipo, parando la producción de este (perforación). A su vez afectando la disponibilidad de la flota tanto para la operación y el mantenimiento.	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
1.B.4	Desgaste prematuro de componentes internos del motor	El motor no transfiere el movimiento a la cadena, por lo que se produce una detención del equipo y de la producción, afectando disponibilidad operacional y por mantenimiento	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
2.B.2	Caída del flujo entregado por Desgaste en la Bomba PTO	Se detiene el equipo, parando la producción de este (perforación). A su vez afectando la disponibilidad de la flota tanto para la operación y el mantenimiento. Impacto ambiental por derrame de fluidos	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
3.E.3	Fugas en válvula de tensado	El tensado se realiza de forma inadecuada, lo que provoca un tensado deficiente de la cadena, provocando fisuras y/o el corte de los eslabones	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos

5.B.2	Presión hidráulica inexistente por desgaste en Bomba PTO	Se detiene el equipo, parando la producción de este (perforación). A su vez afectando la disponibilidad de la flota tanto para la operación y el mantenimiento. Impacto ambiental por derrame de fluidos	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
7.H.3	Desgaste de balatas	Maquina Puede descontrolarse poniendo en riesgo la seguridad del operador y del equipo.	Tarea según condición	Cambio de componente de ser necesario	500 horas	2 mecánicos
8.F.5	Corte de pernos de amarre zapatas	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este	Tarea según condición	Ultrasonido e Inspección Visual	500 horas	1 inspector, 1 mecánico
4.A.3	Ruptura o fugas en mangueras y conexiones en la entrada de la bomba	Se detiene el equipo, parando la producción de este (perforación). A su vez afectando la disponibilidad de la flota tanto para la operación y el mantenimiento. Impacto ambiental por derrame de fluidos	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos

1.E.2	Ruptura de válvula direccional de propulsión	No permite fluido a sistema de propulsión, no permite el movimiento del equipo. Afecta producción y disponibilidad operacional y de mantenimiento	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
1.E.3	Ruptura en válvula de tensado	El tensado se realiza de forma inadecuada, lo que provoca un tensado deficiente de la cadena, provocando fisuras y/o el corte de los eslabones	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
2.A.2	Disminución de caudal entregado por desgaste de mecanismo interno	Se detiene el equipo, parando la producción de este (perforación). A su vez afectando la disponibilidad de la flota tanto para la operación y el mantenimiento.	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
2.A.3	Fugas en mangueras y conexiones en entrada de la bomba de propulsión	Se detiene el equipo, parando la producción de este (perforación). A su vez afectando la disponibilidad de la flota tanto para la operación y el mantenimiento. Impacto ambiental por derrame de fluidos	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos

4.A.1	Presión hidráulica inexistente por fuga en el sistema hidráulico central	Se detiene el equipo, parando la producción de este (perforación). A su vez afectando la disponibilidad de la flota tanto para la operación y el mantenimiento. Impacto ambiental por derrame de fluidos	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
4.A.2	Desgaste de mecanismo interno	Se detiene el equipo, parando la producción de este (perforación). A su vez afectando la disponibilidad de la flota tanto para la operación y el mantenimiento.	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
5.B.4	Desgaste prematuro de componentes internos del motor	El motor no transfiere el movimiento a la cadena, por lo que se produce una detención del equipo y de la producción, afectando disponibilidad operacional y por mantenimiento	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
1.A.1	Presión hidráulica Inexistente por fugas en el sistema hidráulico central	Se detiene el equipo, parando la producción de este (perforación). A su vez afectando la disponibilidad de la flota tanto para la operación y el mantenimiento. Impacto ambiental por derrame de fluidos	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos

1.E.1	Cortocircuito en bobinas	No acciona válvulas, o lo hace con deficiencias. Implica que no haya una correcta transferencia entre las bombas y los motores, deteniendo el equipo.	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	1 eléctrico, 1 mecánico
2.A.1	Caída de presión del fluido hidráulica debido a fugas en el sistema hidráulico central	Se detiene el equipo, parando la producción de este (perforación). A su vez afectando la disponibilidad de la flota tanto para la operación y el mantenimiento. Impacto ambiental por derrame de fluidos	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
2.B.1	Desgaste en Sprocket	El motor no transfiere el movimiento a la cadena, por lo que se produce una detención del equipo y de la producción, afectando disponibilidad operacional y por mantenimiento	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
3.E.4	Caída de presión por contaminación en las líneas hidráulicas	El sistema se contamina, afectando a los componentes que lo conforman. Por otro lado produce un impacto ambiental ya que altera la composición del fluido y puede provocar fugas, el mismo desecho de este si no es controlado.	Preventivo	Muestras y Reemplazo del líquido del fluido a las 2000 horas del depósito	500 horas	2 mecánicos

5.B.1	Fracturas en Sprocket	El motor no transfiere el movimiento a la cadena, por lo que se produce una detención del equipo y de la producción, afectando disponibilidad operacional y por mantenimiento	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
8.F.3	Agrietamiento en pasadores	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este	Tarea según condición	Ultrasonido e Inspección Visual	500 horas	1 inspector, 1 mecánico
8.F.4	Aflojamiento de pasadores	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este	Tarea según condición	Ultrasonido e Inspección Visual	500 horas	1 inspector, 1 mecánico
1.A.3	Ruptura o fugas en mangueras y conexiones en la entrada de la bomba	Se detiene el equipo, parando la producción de este (perforación). A su vez afectando la disponibilidad de la flota tanto para la operación y el mantenimiento. Impacto ambiental por derrame de fluidos	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos

1.B.3	Ruptura o fugas en mangueras y conexiones de entrada del motor de propulsión	Se detiene el equipo, parando la producción de este (perforación). A su vez afectando la disponibilidad de la flota tanto para la operación y el mantenimiento. Impacto ambiental por derrame de fluidos	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
2.B.3	Fugas en mangueras y conexiones en entrada de la bomba de propulsión	Se detiene el equipo, parando la producción de este (perforación). A su vez afectando la disponibilidad de la flota tanto para la operación y el mantenimiento. Impacto ambiental por derrame de fluidos	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
3.E.2	Fugas en válvula direccional de propulsión	No permite fluido a sistema de propulsión, no permite el movimiento del equipo. Afecta producción y disponibilidad operacional y de mantenimiento	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
5.B.3	Ruptura o fugas en mangueras y conexiones de entrada del motor de propulsión	Se detiene el equipo, parando la producción de este (perforación). A su vez afectando la disponibilidad de la flota tanto para la operación y el mantenimiento. Impacto ambiental por derrame de fluidos	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos

7.H.2	Desgaste prematuro de mecanismo interno	Maquina Puede descontrolarse poniendo en riesgo la seguridad del operador y del equipo.	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
8.F.2	Fisura en links de zapatas	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este	Tarea según condición	Ultrasonido e Inspección Visual	500 horas	1 inspector, 1 mecánico
1.B.1	Fracturas en Sprocket	El motor no transfiere el movimiento a la cadena, por lo que se produce una detención del equipo y de la producción, afectando disponibilidad operacional y por mantenimiento	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
2.B.4	Disminución del caudal que entrega por desgaste interno	El motor no transfiere el movimiento a la cadena, por lo que se produce una detención del equipo y de la producción, afectando disponibilidad operacional y por mantenimiento	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos

6.C.2	Fatiga de material en rueda propulsora	Se produce un daño progresivo a la cadena, que podría provocar el corte de esta. Por lo tanto una falla catastrófica para el equipo y la producción	Tarea según condición	Ultrasonido e inspección visual/ Programar cambio de ser necesario	2000 horas	1 inspector, 1 mecánico
1.B.2	Presión hidráulica inexistente por Desgaste de Bomba PTO	Se detiene el equipo, parando la producción de este (perforación). A su vez afectando la disponibilidad de la flota tanto para la operación y el mantenimiento. Impacto ambiental por derrame de fluidos	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
1.C.1	Desgaste prematuro de la rueda propulsora por fractura de buje o pasador	Se produce un daño progresivo a la cadena, que podría provocar el corte de esta. Por lo tanto una falla catastrófica para el equipo y la producción	Tarea según condición	Ultrasonido e inspección visual/ Programar cambio de ser necesario	2000 horas	1 inspector, 1 mecánico
1.C.2	Fatiga de material en rueda propulsora	Se produce un daño progresivo a la cadena, que podría provocar el corte de esta. Por lo tanto una falla catastrófica para el equipo y la producción	Tarea según condición	Ultrasonido e inspección visual/ Programar cambio de ser necesario	2000 horas	1 inspector, 1 mecánico

1.D.1	Desgaste prematuro de la rueda tensora por fractura de buje o pasador	Se produce un daño progresivo a la cadena, que podría provocar el corte de esta. Por lo tanto una falla catastrófica para el equipo y la producción	Tarea según condición	Ultrasonido e inspección visual/ Programar cambio de ser necesario	2000 horas	1 inspector, 1 mecánico
1.D.2	Fatiga de material en rueda tensora	Se produce un daño progresivo a la cadena, que podría provocar el corte de esta. Por lo tanto una falla catastrófica para el equipo y la producción	Tarea según condición	Ultrasonido e inspección visual/ Programar cambio de ser necesario	2000 horas	1 inspector, 1 mecánico
3.E.1	Cortocircuito en bobinas	No acciona válvulas, o lo hace con deficiencias. Implica que no haya una correcta transferencia entre las bombas y los motores, deteniendo el equipo.	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	1 eléctrico, 1 mecánico
7.H.1	Desregularización de freno	Maquina Puede descontrolarse poniendo en riesgo la seguridad del operador y del equipo.	Correctivo	Regular el Freno, mediante los parámetros establecidos en el manual	A la falla	2 mecánicos

7.H.4	Caída de presión por fuga en sistema hidráulico central	Se detiene el equipo, parando la producción de este (perforación). A su vez afectando la disponibilidad de la flota tanto para la operación y el mantenimiento. Impacto ambiental por derrame de fluidos. Frenos pueden no funcionar poniendo en riesgo la seguridad de las personas	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
8.F.1	Corte en eslabón de cadena	Falla catastrófica, el equipo queda inutilizado y su reparación implica elevados costos. Afecta la producción del equipo y un gran daño en la disponibilidad de este	Tarea según condición	Ultrasonido e Inspección Visual	500 horas	1 inspector, 1 mecánico
11.E.2	Ruptura de válvula direccional de propulsión	No permite fluido a sistema de propulsión, no permite el movimiento del equipo. Afecta producción y disponibilidad operacional y de mantenimiento	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos
11.E.3	Ruptura en válvula de tensado	El tensado se realiza de forma inadecuada, lo que provoca un tensado deficiente de la cadena, provocando fisuras y/o el corte de los eslabones	Correctivo	Cambio de Componente	A la falla	2 mecánicos

Anexo 4: Base de Datos Perforadora 18 SIGEMM (simplificada)

Tabla 26. Detenciones por fallas mecánicas [Fuente: SIGEMM Collahuasi 2013]

Fecha	Equipo	Hora inicio	Hora Termino	Duración	Tipo de falla	Sistema	Subsistema	Descripción de Trabajos
05/10/2012	PO18	20:00:00	8:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Rueda propulsora y tensora	Se retiran zapatas, se desmontan rodillos, se retira rueda tensora.
06/10/2012	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Rueda propulsora y tensora	se instala rueda tensora
06/10/2012	PO18	20:00:00	7:00:00	11:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Rueda propulsora y tensora	Se termina de instalar rueda tensora, se monta cadena, se instalan rodillos superiores, se instalan zapatas y líneas de lubricación. Se rellena con aceite hidráulico. Se tiene problemas con alternador marca 25 V a la salida.
16/11/2012	PO18	16:05:00	20:00:00	03:55:00	Externa	Propulsión y rodado	Otras panes operativas	Se corta lado izquierdo de eslabón de oruga derecha. Tiempo operacional.
16/11/2012	PO18	20:00:00	8:00:00	12:00:00	Externa	Propulsión y rodado	Otras panes operativas	Se corta lado izquierdo de eslabón de oruga derecha. Tiempo operacional.
19/11/2012	PO18	20:00:00	8:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Rueda propulsora y tensora	se realiza chequeo se da partida a equipo se destensa oruga ,se procede alinear cadena no lográndolo para realizar soldadura.
20/11/2012	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se comienza reparación de eslabón de oruga
20/11/2012	PO18	20:00:00	1:30:00	05:30:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se termina reparación de la cadena del bastidor lado derecho se repone zapata con dos pernos nuevos.
02/12/2012	PO18	3:10:00	3:40:00	00:30:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Estructura y ejes	se retira por estar a punto de caer cortina lateral de polvo
10/12/2012	PO18	22:15:00	8:00:00	9:45:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Válvulas y sensores	Equipo sin propel lado izquierdo y porta barra no trabaja, se resetea equipo

11/12/2012	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Eléctrica	Propulsión y rodado	Válvulas y sensores	se encuentra bobina de solenoide de oruga izquierdo cortocircuitada, se cambia bobina, queda con oruga izquierda lenta hacia atrás
11/12/2012	PO18	20:00:00	8:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Bombas de propulsión	Falla hidráulica en propulsión izquierda.
12/12/2012	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Válvulas y sensores	problema en válvula diversora de oruga izquierda
14/12/2012	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Válvulas y sensores	Se determina cambiar válvula stroker de lado izquierdo.
15/12/2012	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Válvulas y sensores	Continua falla de propulsión , se cargan parámetros en maquina
15/12/2012	PO18	20:00:00	8:00:00	12:00:00	Detención Eléctrica	Propulsión y rodado	Válvulas y sensores	Se procede a realizar la carga de programa y parámetros del equipo paralelamente se realizan pruebas con izado propel y rotación, se cambian solenoides, spool invirtiendo la falla al lado derecho como prueba, para el descarte y encierro de falla, encontrando que cable de módulo de no entrega valores correspondiente se realizara corte del cable para ser puesto por fuera y comenzar a realizar testeo del equipo.
16/12/2012	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Válvulas y sensores	Continua falla de propulsión , se cargan parámetros en máquina, se traslada perforadora a banco inferior
16/12/2012	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Válvulas y sensores	Se regulariza cables de conexión de Válvulas se regula stroker se chequea equipo queda todo normalizado teniendo una pequeña referencia en rotación positiva y solenoide de freno pegada
17/12/2012	PO18	8:00:00	18:45:00	10:45:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Motores de propulsión	Se cambia estroker de bomba lado no cabina se regulan valores se rellena hidráulico y se prueba
17/12/2012	PO18	21:00:00	22:30:00	01:30:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Válvulas y sensores	Se cheque el equipo encontrando alguno detalles se encuentra propel lento, se cruza levemente y falta de rpm en la rotación y del control remoto más lento el sistema propel.
20/12/2012	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Eléctrica	Propulsión y rodado	Bombas de propulsión	Se regulan presiones de rotación 4500 psi y se chequean presiones de pulldown 3500 psi, se cambia spool de de stokers de bomba lado cabina y se normaliza problema de propulsión.
21/12/2012	PO18	18:50:00	19:20:00	00:30:00	Detención	Propulsión y	Frenos de propel	Se regula freno de propulsión.

					Eléctrica	rodado		
21/12/2012	PO18	20:00:00	21:30:00	01:30:00	Detención Eléctrica	Propulsión y rodado	Frenos de propel	Se normaliza control remoto y se regulan rango de monitoreo de presión de rotación.
23/12/2012	PO18	11:18:00	11:35:00	00:17:00	Detención Eléctrica	Propulsión y rodado	Válvulas y sensores	Se chequea presión de freno de propulsión
25/12/2012	PO18	18:00:00	20:00:00	02:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Motores de propulsión	presenta problemas de parámetros en la rotación y oruga izquierda , además temperatura de compresor
25/12/2012	PO18	20:00:00	5:30:00	09:30:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Motores de propulsión	se chequean valores de joystick se ajustan y se realizan pruebas en espera de operador
26/12/2012	PO18	8:00:00	19:30:00	11:30:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Motores de propulsión	se realiza apoyo con personal atlas queda operativa
08/01/2013	PO18	20:30:00	1:30:00	05:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Perno de zapatas de orugas se realiza retorqueo quedando operativa
14/01/2013	PO18	20:00:00	5:15:00	09:15:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	se realiza aprete de pernos de zapatas se debe realizar chequeo diario ya que los pernos no son los originales y se estan soltando
23/01/2013	PO18	12:45:00	13:15:00	00:30:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	se realiza tensado de oruga lado izquierdo ok
26/01/2013	PO18	0:45:00	5:10:00	04:25:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Bombas de propulsión	Presenta falla de no tensar una oruga, se regula válvula de alivio de tensión de oruga lado izquierdo
30/01/2013	PO18	16:45:00	20:00:00	03:15:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se quiebra link de oruga lado derecho, en proceso de reparación.
30/01/2013	PO18	20:00:00	8:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se retira eslabón del conjunto nuevo y se espera apoyo de operador de Ameco, se continua con la extracción de los pasadores de la oruga usada, pasadores agripados y acinturados.

31/01/2013	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se instala pasador a link, no se logra sacar el otro pasador, se corta bije para vaciar y acolchar.
31/01/2013	PO18	20:00:00	8:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se retira pasador vaciado, se acerca y alinea eslabones y queda a la espera de soldador, ya que tecla impide que prensa pueda ser instalada y al retirar tecla se desalinea y no permite instalar pasador.
01/02/2013	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Acolchado de orugas, SE REALIZA AMATENCIÓN DE 125 HRS.
01/02/2013	PO18	20:00:00	7:00:00	11:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se instala pasador, se cortan pernos de zapatas y se instala zapata con pernos nuevos, en oruga derecha y en oruga izquierda. Se reemplaza foco de piso lado colector.
11/02/2013	PO18	12:40:00	2:40:00	14:00:00	Detención Eléctrica	Propulsión y rodado	Válvulas y sensores	se realiza calibración de parámetros de rotación lado cabina presenta una diferencia de 30 miliamperios quedando parejas, equipo queda operativo.
17/02/2013	PO18	5:55:00	8:00:00	02:05:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se detiene equipo por reparación fisura crítica en cadena de rodado. Se encuentran dos links con fisura y uno de ellos con una separación considerable.
18/02/2013	PO18	8:00:00	18:45:00	10:45:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Eslabones fisurados y cortados, reparación con soldadura. Oruga izquierda.
19/02/2013	PO18	4:45:00	6:30:00	01:45:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Válvulas y sensores	Se regula válvula de tensado lado izquierdo
24/02/2013	PO18	8:00:00	16:00:00	08:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	se realiza fisura en cadenas de orugas, se limpia y sopla enfriador, se chequean aspas de enfriador y se torquean
28/02/2013	PO18	18:00:00	20:00:00	02:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Motores de propulsión	Se realiza chequeo de cadena bastidor lado izquierdo encontrado un eslabón interior quebrado. Se realiza PM diaria.
04/03/2013	PO18	20:00:00	21:15:00	01:15:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	se chequea fisura en cadena lado izquierdo
11/03/2013	PO18	10:00:00	20:00:00	10:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	se corta pasador de oruga lado cabina descolchando cadena, se desmonta cadena de bastidor se retiran 2 zapatas
11/03/2013	PO18	20:00:00	8:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	se procede a retirar pasador se instala herramientas en pasador con 10.000 psi y este no sale se calienta

12/03/2013	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	se corta cadena
12/03/2013	PO18	20:00:00	8:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se corta pasador para retirar sección para cambio y se procede a instalar sección de cadena nueva con pasador.
13/03/2013	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se retira parador instalado debido a que no cabe la prensa y pasador no entró a machazos, se re-instala.
13/03/2013	PO18	20:00:00	8:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se retira pasador de cadena y se carga batería, se da partida a generador para darle temperatura al equipo y se reposiciona cadena en bastidor para comenzar proceso de acolchado.
14/03/2013	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se retira parador instalado debido a que no cabe la prensa y pasador no entró a machazos, se re-instala.
14/03/2013	PO18	20:00:00	8:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Motores de propulsión	Se termina instalación de pasador de oruga se repara fisura en cadena lado izquierdo más fisura encontrada en cadena lado derecho. Pendiente reponer zapata.
15/03/2013	PO18	8:00:00	17:05:00	09:05:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	corte de cadena
21/03/2013	PO18	8:30:00	14:20:00	05:50:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se reponen 4 pernos de oruga y se torquean
24/03/2013	PO18	8:50:00	20:00:00	11:10:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Ve realiza cambio de radio musical OK
24/03/2013	PO18	20:00:00	4:00:00	08:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se termina reparación de cadena oruga.
26/03/2013	PO18	0:45:00	1:20:00	00:35:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se reemplaza perno de zapata lado izquierdo y se reaprietan pernos
27/03/2013	PO18	22:30:00	8:00:00	09:30:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	En inspección de rodado se detectan fisuras en eslabón reparado y un eslabón quebrado, se realiza reparación.
28/03/2013	PO18	8:00:00	14:20:00	06:20:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Motores de propulsión	Se realiza reparación de cadena bastidor lado no cabina se realiza reapriete de pernos de zapatas de ambos bastidores .encontrando varias fisuras de eslabones.
01/04/2013	PO18	12:20:00	18:10:00	05:50:00	Detención	Propulsión y	Zapatas de oruga y	Pernos de zapatas de bastidor sueltos. Se

					Mecánica	rodado	pasadores	reaprietan pernos y chequeo de rodado ambos rodados.
10/04/2013	PO18	15:30:00	18:20:00	02:50:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	durante inspección diaria se detecta eslabón fisurado, se repara.
12/04/2013	PO18	22:20:00	2:00:00	03:40:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se repara fisura el eslabon de cadena bastridor lado nocabia se repara cable de carga de control remoto
13/04/2013	PO18	11:00:00	20:00:00	09:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Eslabón quebrado debido a traslado de un banco a otro inferior en fase 6
19/04/2013	PO18	14:00:00	18:00:00	4:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se suelda fisura en cadena de rodado ok .ademas se realiza diaria.
21/04/2013	PO18	15:00:00	19:00:00	4:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se realiza reparación de tres fisuras en cadena de oruga y se realiza inspección diaria
22/04/2013	PO18	1:25:00	8:00:00	6:35:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se corta eslabón de oruga izquierda, descolchando oruga, falla catastrófica.
23/04/2013	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Oruga cortada, mantención programada, continuar con reparación de oruga izquierda
23/04/2013	PO18	20:00:00	8:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Continúa con reparación de oruga izquierda, trabajos detenidos por falta de soldador y de camión maestranza.

24/04/2013	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se realiza trochado de eslabones de cadena más instalación se eslabón nuevo y cambio de baterías pendiente reponer mordaza de llave caimán y acolchar oruga cambio de sello sweet
25/04/2013	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se normaliza corriente propulsión, se normaliza presión desaplicación de freno, se cambian filtros record, se descarga parámetros para mejorar el respaldo, se repara eslabones zapata y se instalan zapatas pendiente reparar fisura crítica en bastidor lado cabina y evaluación de fisuras.
25/04/2013	PO18	20:00:00	8:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se realiza chequeo de bastidores y de cadena, además de soldadura en eslabones fisurados y otros marcados que se encontraron críticos. Pendiente continuar aportando cadenas lado derecho (2° fisura).
26/04/2013	PO18	8:00:00	13:10:00	5:10:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se realizan siete reparaciones de fisuras en eslabones de cadena de bastidores
27/04/2013	PO18	13:00:00	20:00:00	7:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Equipo con corte de cadena en bastidor lado cabina. Se acoplan forma momentánea eslabones quebrados para traslado del equipo por tronadura.
27/04/2013	PO18	20:00:00	8:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se procede a realizar vaciado de pasador, no logrando gran avance.
28/04/2013	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se reponen eslabón de cadena y pasador de bastidor lado cabina. Se entrega a operaciones como: "Disponible para traslado"
28/04/2013	PO18	20:00:00	8:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	En espera de traslado. A patio
29/04/2013	PO18	8:00:00	19:00:00	11:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	En espera de traslado
29/04/2013	PO18	20:00:00	8:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Disponible para trasladarse, posible problema de baterías ya que cuesta mucho el arranque.
30/04/2013	PO18	8:00:00	20:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se chequea equipo y se da partida corriendo calentado el motor ok.
30/04/2013	PO18	20:00:00	8:00:00	12:00:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	se chequea equipo y se da partida corriendo calentado el motor ok
13/05/2013	PO18	8:00:00	18:15:00	10:15:00	Detención Mecánica	Propulsión y rodado	Zapatas de oruga y pasadores	Se desplaza pasador maestro en cadena oruga derecha, y se detecta que pasador maestro lado

								izquierdo también se comienza a desplazar. Se reponen y se aseguran con soldadura. SE REALIZA SERVICIO DIARIO
--	--	--	--	--	--	--	--	---

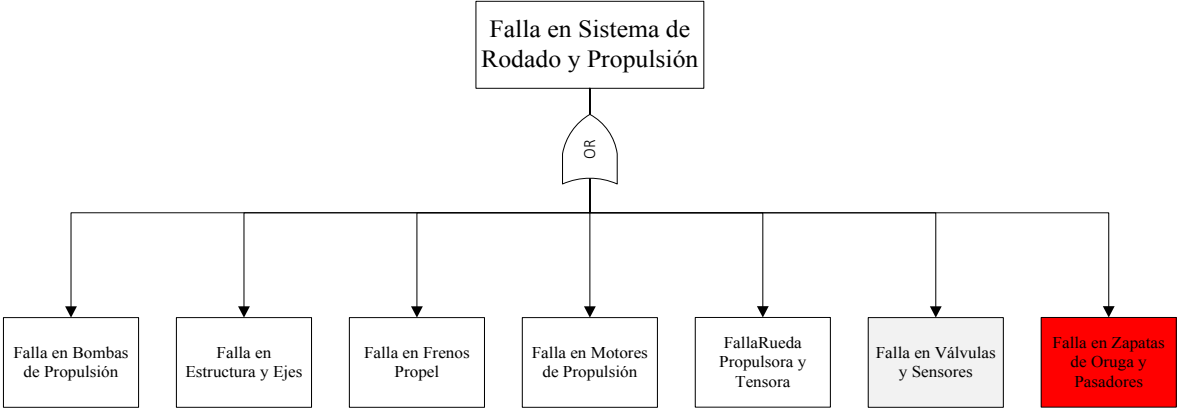
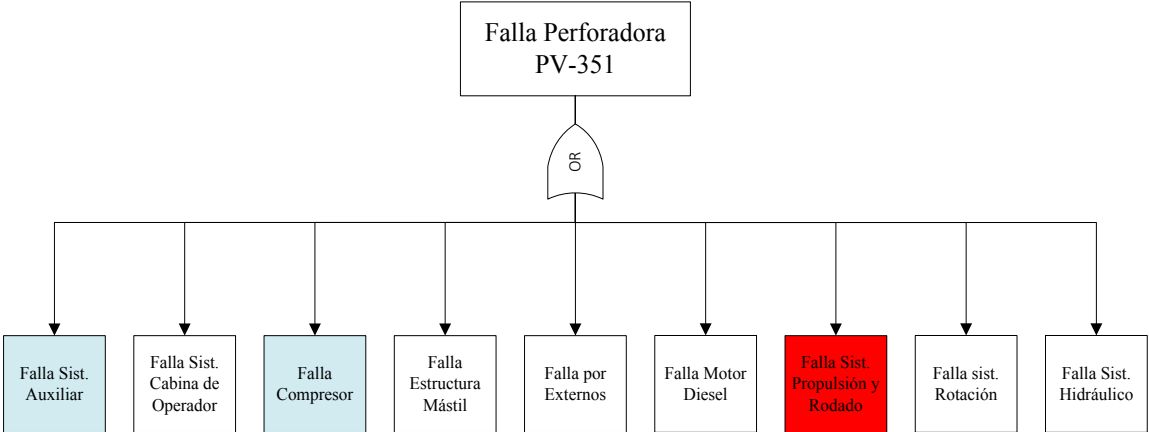
Anexo 5: Tarifas de componentes principales 2013

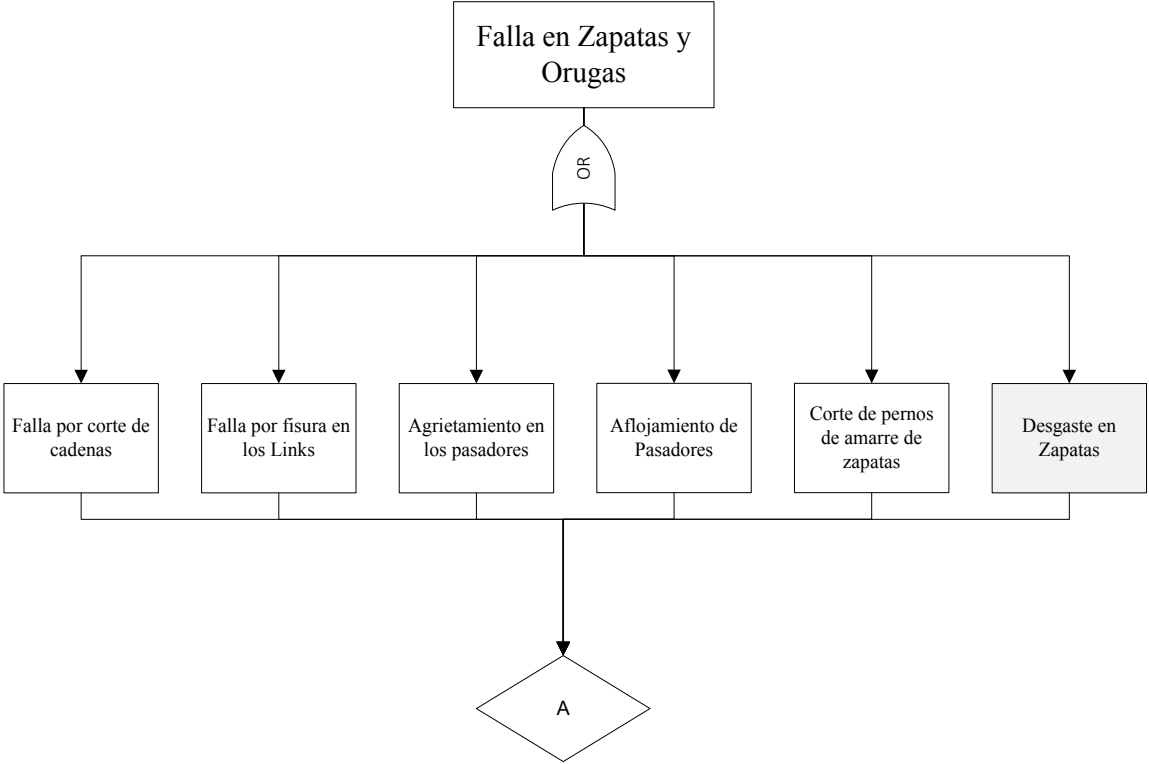
Tabla 27. Listado de componentes y valores [Fuente: SIGEMM]

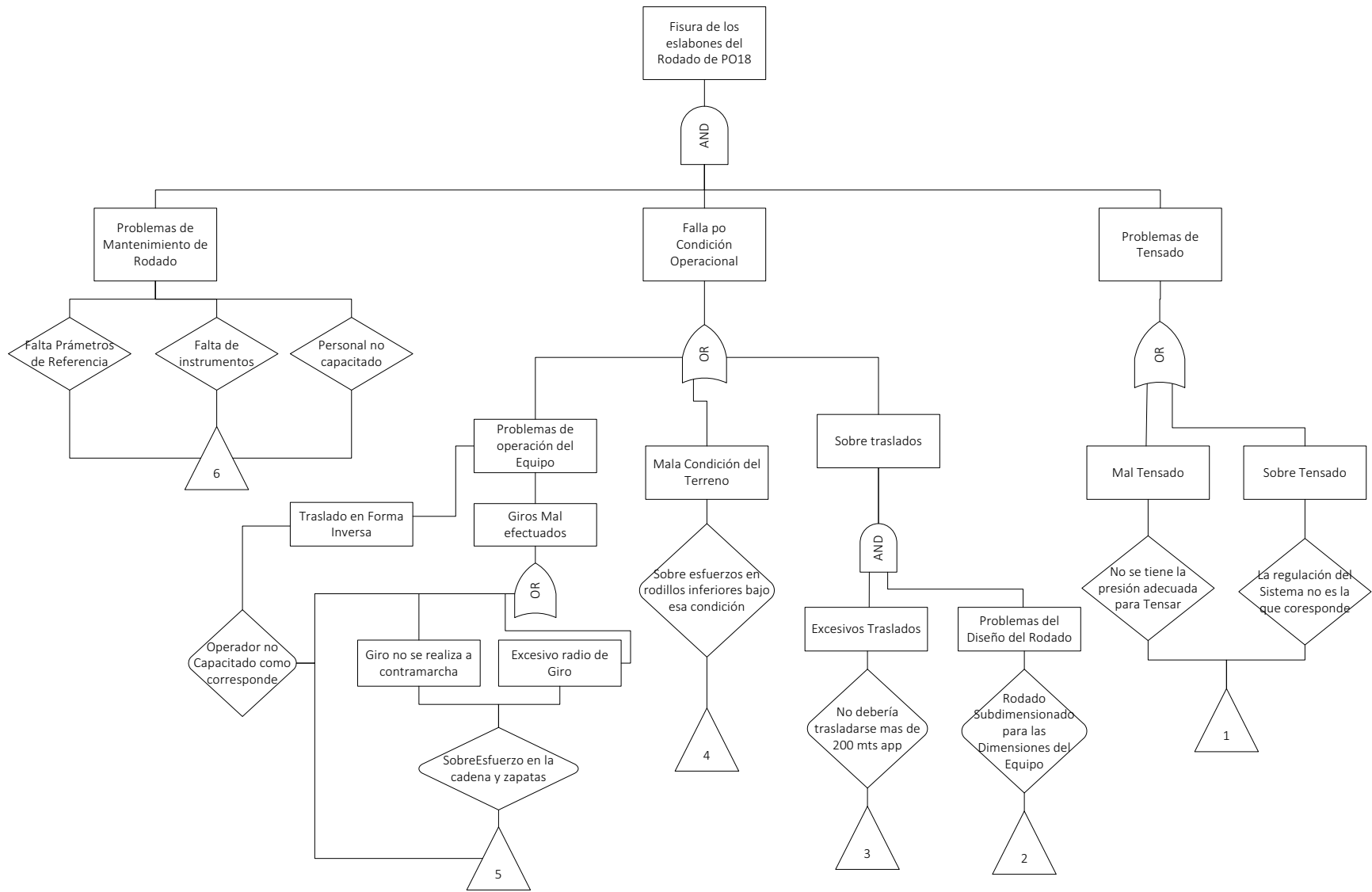
Equipo	Descripción	Tarifa 2012	Tarifa 2012	Tarifa 2013	% relativo	HORAS GARANTIZADOS
PO18	CYLINDER JACK010X72 1	30.209	31.719	33.305	2%	16.000
PO18	CYLINDER JACK010X72 2	30.209	31.719	33.305	2%	16.000
PO18	CYLINDER JACK010X72 3	30.209	31.719	33.305	2%	16.000
PO18	TRACK GROUP 1	48.936	51.383	53.952	4%	24.000
PO18	TRACK GROUP 2	48.936	51.383	53.952	4%	24.000
PO18	CYLINDER FEED	86.456	90.779	95.318	7%	16.000
PO18	BARE POWER HEAD	235.998	247.798	260.188	19%	24.000
PO18	COOLER COC HOC	66.807	70.148	73.655	5%	10.000
PO18	COOLER RADIATOR	71.446	75.019	78.769	6%	10.000
PO18	AIRENDASM 2X285	137.585	144.464	151.687	11%	18.000
PO18	VALVE ASSY VP7	24.692	25.926	27.223	2%	16.000
PO18	VALVE ASSY VPL6	13.586	14.265	14.979	1%	16.000
PO18	VALVE ASSY VPL9	16.801	17.641	18.523	1%	16.000
PO18	DIVERTER ASSEMBLY	21.096	22.150	23.258	2%	16.000
PO18	GEARBOX PUMP DRIVE	65.377	68.646	72.078	5%	24.000
PO18	PUMP-25 GPM CAT	8.740	9.177	9.636	1%	16.000
PO18	PUMP HYDRAULIC DMP 1	24.691	25.925	27.222	2%	16.000
PO18	PUMP HYDRAULIC DMP 2	16.275	17.089	17.943	1%	16.000
PO18	PUMP DOUBLE HYDRAULIC 1	3.094	3.249	3.412	0%	16.000
PO18	PUMP DOUBLE HYDRAULIC 2	3.094	3.249	3.412	0%	16.000

PO18	VALVE FEED CONTROL	16.072	16.876	17.720	1%	10.000
PO18	COUPLING	9.274	9.737	10.224	1%	10.000
PO18	FAN 60"	3.422	3.593	3.773	0%	10.000
PO18	MOTOR HYDRAULIC	18.953	19.900	20.895	1%	16.000
PO18	CABLE PULLDOWN 1	8.762	9.201	9.661	1%	8.000
PO18	CABLE PULLDOWN 2	8.762	9.201	9.661	1%	8.000
PO18	CABLE PULBACK 1	3.928	4.124	4.330	0%	8.000
PO18	CABLE PULBACK 2	3.928	4.124	4.330	0%	8.000
PO18	MOTOR DIESEL	210.000	220.500	231.525	17%	12.000

Anexo 6: Árbol de falla, ramificado en fallas críticas







Anexo 7: Resultados globales y Metas de la compañía

	NOTE	2012 US\$	2011 US\$
Ingresos por ventas	(5)	2.277.290.490	3.837.146.028
Costo de ventas		(1.514.435.858)	(1.536.961.689)
Margen bruto		762.854.632	2.300.184.339
Gastos de administración		(28.615.428)	(55.241.030)
Otros ingresos	(6)	546.304	19.881
Otros gastos	(6)	(7.729.302)	(25.670.634)
Resultado operacional		727.056.206	2.219.292.556
Ingresos financieros	(7)	700.865	1.222.011
Gastos financieros	(8)	(4.859.661)	(6.974.188)
Diferencia de cambio		(14.300.965)	3.726.283
Resultado antes de impuestos		708.596.445	2.217.266.662
Impuesto a la renta	(9a)	(213.698.692)	(534.857.775)
Utilidad del ejercicio		494.897.753	1.682.408.887
Dividendos pagados	(17)	-	1.165.000.000
Utilidad básica por acción		24.652,44	83.806,17

No hubo dilución potencial de la utilidad por acción en ninguno de los años señalados, por lo tanto, la utilidad por acción diluida no difiere de la utilidad básica por acción según lo revelado en esta página.

Figura 64. Estado de resultados 2012, 2011. [Fuente: Reporte Financiero Collahuasi 2012]

Tabla 28. Metas globales del negocio, principales KPI [Fuente: Indicadores de Gerencia de Mina 2013, reporte semestral]

Metas Globales del Negocio					
	KPI	UNIDAD	2011 REAL	METAS	
				2012	2013
Seguridad	Índice Frecuencia (Ctp ²)		1,26	1,16	0,98
	If Reportable (Ctp + Ctm ³)		2,90	2,9	2,75
	Índice De Gravedad		76,40	82	70
Producción	Movimiento Ext. Total	Mton	203,7	273,15	299,27
	Ley Mineral Sulfuro	%	1,02	0,84	1,18
	Mineral Sulfuro Alimentado	Mton	47,75	55	53,54
	Tratamiento Sulfuro Dia	Ktpd	131,00	150	147
	Recuperación De Cu Concentrado	%	85,37	84,18	87,27
	Producción De Concentrado	Kton	1.536,00	1439	2080
	Producción De Cu Filtrado	Kton	417,00	389	550
	Producción De Cu Cátodos	Kton	36,00	37	28
	Producción De Cu Total	Kton	453,00	426	578
	Producción De Molibdeno	Kton	6,70	4,1	8,6
Costo	Costo Mina	US\$/lb	0,43	0,59	0,45
	C1 Antes De Créditos	US\$/lb	1,56	1,64	1,33
	C1 Después De Créditos	US\$/lb	1,23	1,42	1,03

² CTP: Caso con tiempo perdido

³ CTM: Caso con tiempo en mina

Anexo 8: Hitos del Proceso de Regularización de la Operación

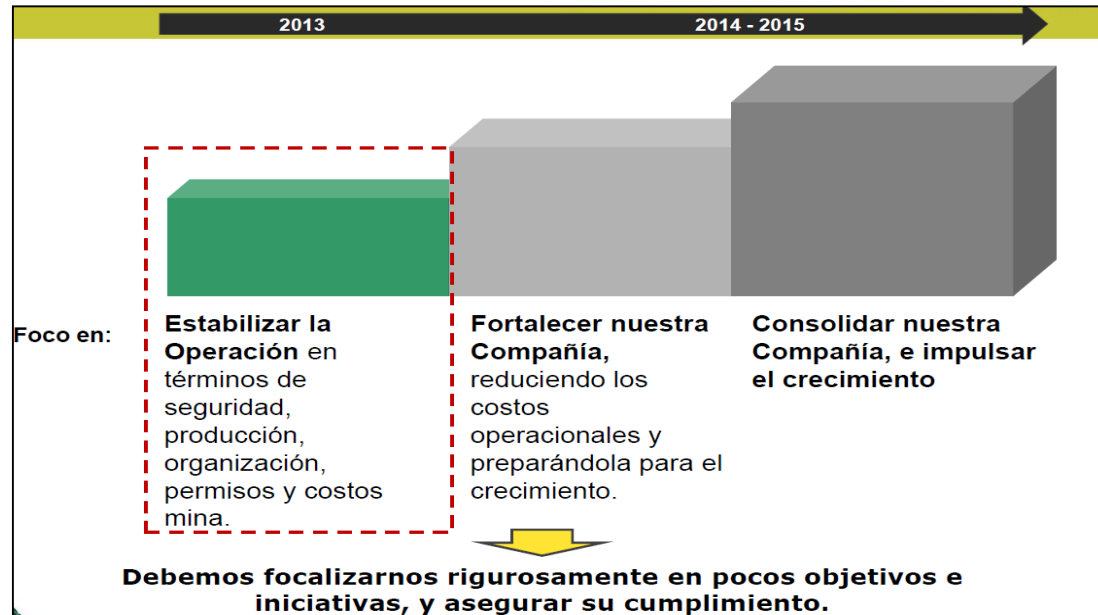


Figura 65. Proceso de regularización de Collahuasi [Fuente: Presentación Taller definición de procesos SI Planificación 2013]

Uno de los puntos fundamentales es el proceso de estabilización de la producción y control de costos en mina. Para esto la empresa ha establecido las siguientes prioridades para el año 2013.

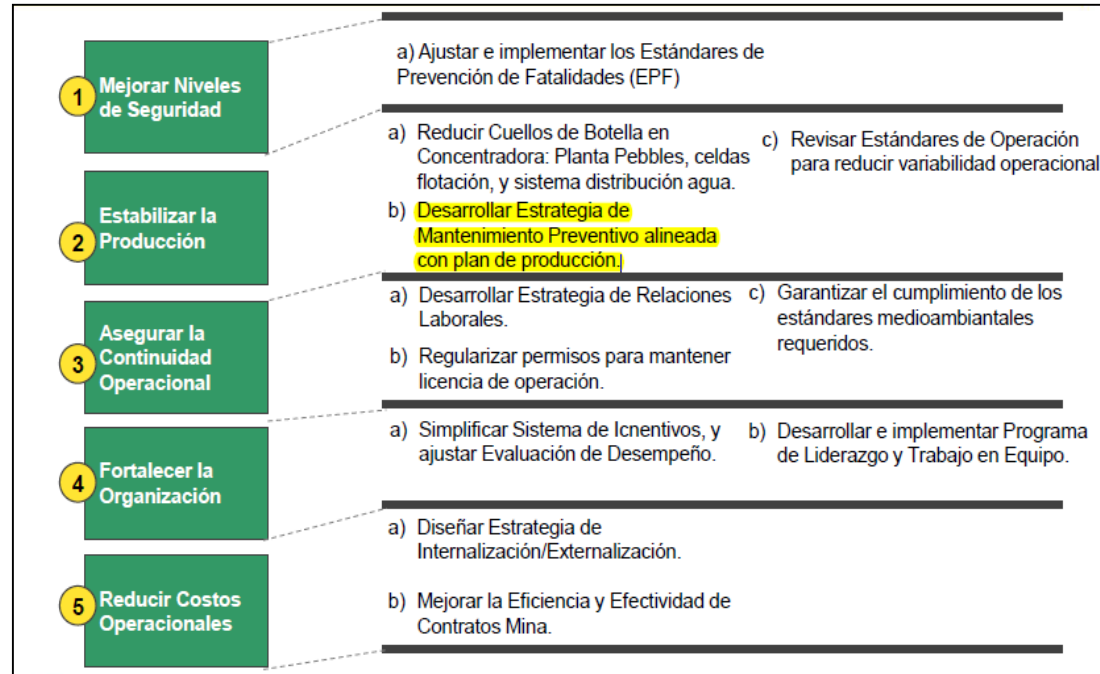


Figura 66. Prioridades CMDIC 2013. [Fuente: Presentación Taller definición de procesos SI Planificación 2013]

La Figura 65, muestra los hitos que se debiesen cumplir como compañía. Atañen directamente a la gerencia de mantención mina el siguiente punto:

- Desarrollar estrategia de mantenimiento preventivo alineada con plan de producción, dentro del cuál

Con el fin de lograrlo, la GMM ha definido el plan de trabajo mostrado en la Figura IX-4.

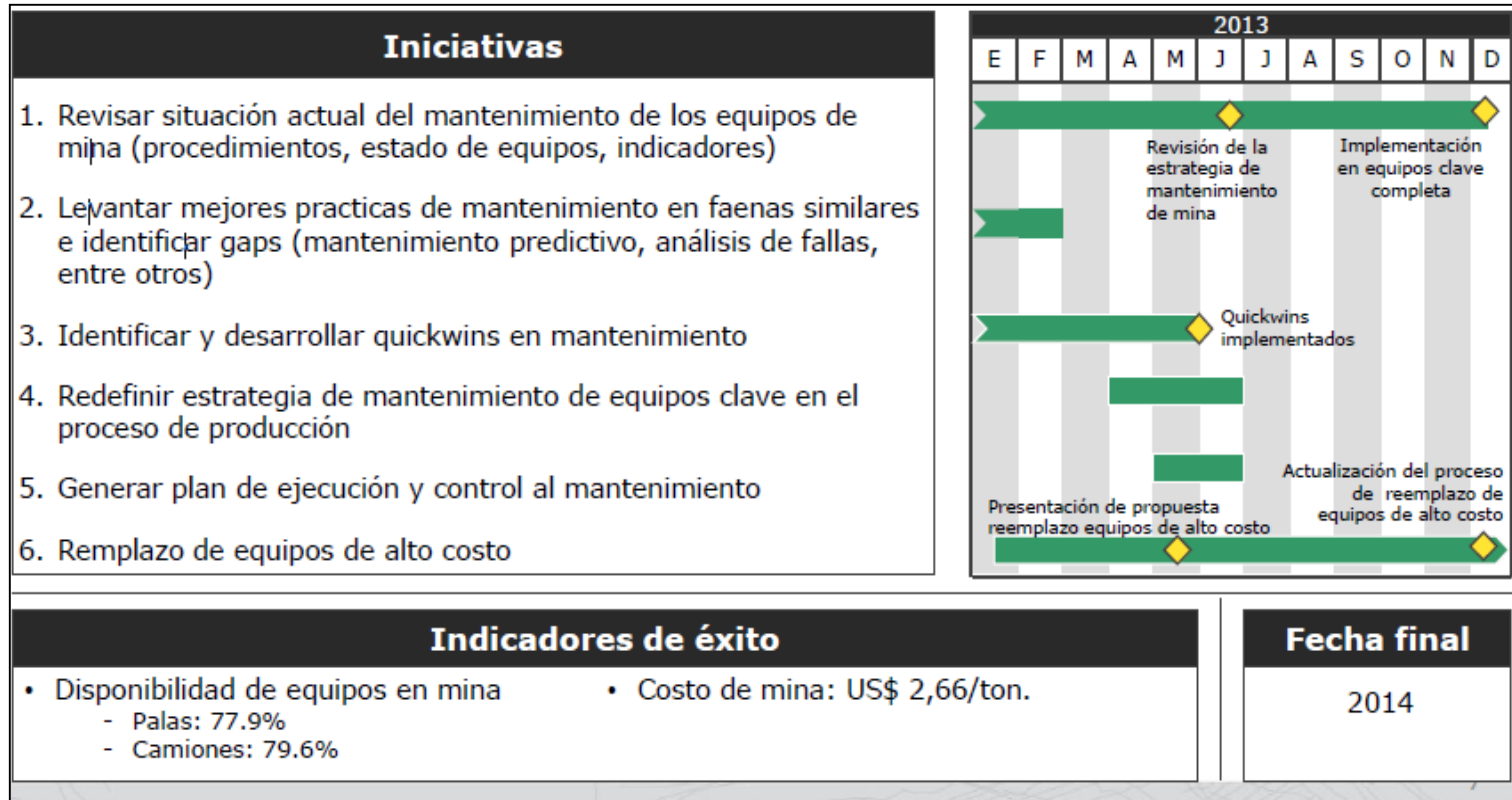


Figura 67. Plan de trabajo SI Planificación. [Fuente: Presentación Taller definición de procesos SI Planificación 2013]

Finalmente con el fin de cumplir este plan de trabajo la SI de Planificación y Control se han propuesto una serie de iniciativas, las cuales se muestran en la tabla II-1

Tabla 29. Tareas del Plan de trabajo SI Planificación y Control . [Fuente: Presentación Taller definición de procesos SI Planificación 2013]

1	Revisar situación actual del mantenimiento de equipos mina
1.1	Revisar frecuencias de mantenimiento por flota
1.2	Redefinir cantidad de HH por cada pauta de mantención
1.3	Revisar y actualizar los <i>kardex</i> de <i>backlogs</i> pendientes
1.4	Implementación de la Planificación corregida (Definición de estrategia, considerando frecuencias, BL, HH, Etc. Además se deberá definir la Filosofía de las detenciones)
2	Levantar mejores prácticas de mantenimiento en faenas similares e identificar gaps
2.1	Realizar visita a otras faenas
2.2	Definir el proceso de Ingenieros de Repuestos
2.3	Homologación de programa semanal y reportes de KPIs
3	Identificar y desarrollar <i>quickwins</i> en mantenimiento
3.1	Uso de <i>Ellipse</i> para el mantenimiento con personal propio
3.2	Poner en operación el plan de continuidad operacional (personal 7x7)
3.3	Uso de <i>Ellipse</i> para el mantenimiento con personal ESED
3.4	Realizar proyecto <i>Repower</i> en flota 930E
3.5	Presentar proyecto para uso de bodegas <i>Stock less</i> para mantención
4	Redefinir estrategia de mantenimiento de equipos clave en el proceso de producción
4.1	Instrucción para que planificación Mantención Mina sensibilice su programa con los programas de producción de la mina
4.2	Definición de criterios para el reemplazo de equipos, Proceso anual Budget, Estrategia de cambio de componentes
5	Generar plan de ejecución y control al mantenimiento
5.1	Definir el proceso de Planificación y control
5.2	Plan de recuperación de la flota de perforadoras (Acuerdo de servicio con Ingeniería y Operaciones del Mantenimiento)
6	Reemplazo de equipos de alto costo
6.1	Armado de equipo nuevos

Anexo 9: Histograma del Tiempo entre Falla y Estadísticos Relevantes

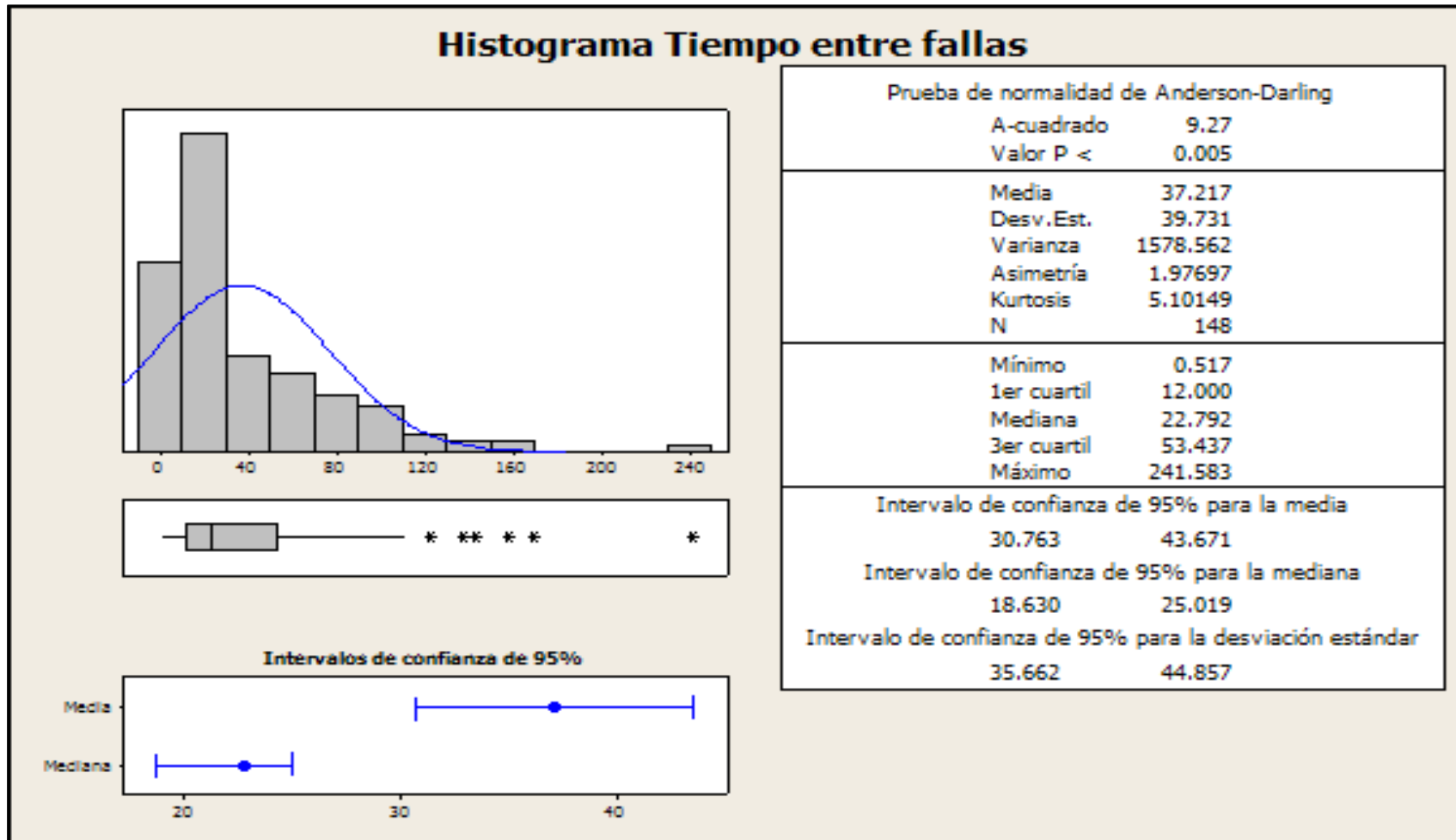


Figura 68. Histograma de Fallas desde julio 2012 a Julio 2013 [Fuente: Presentación Taller definición de procesos SI Planificación 2013]

Anexo 10: Análisis Funcional de Sistema de rodado y Propulsión

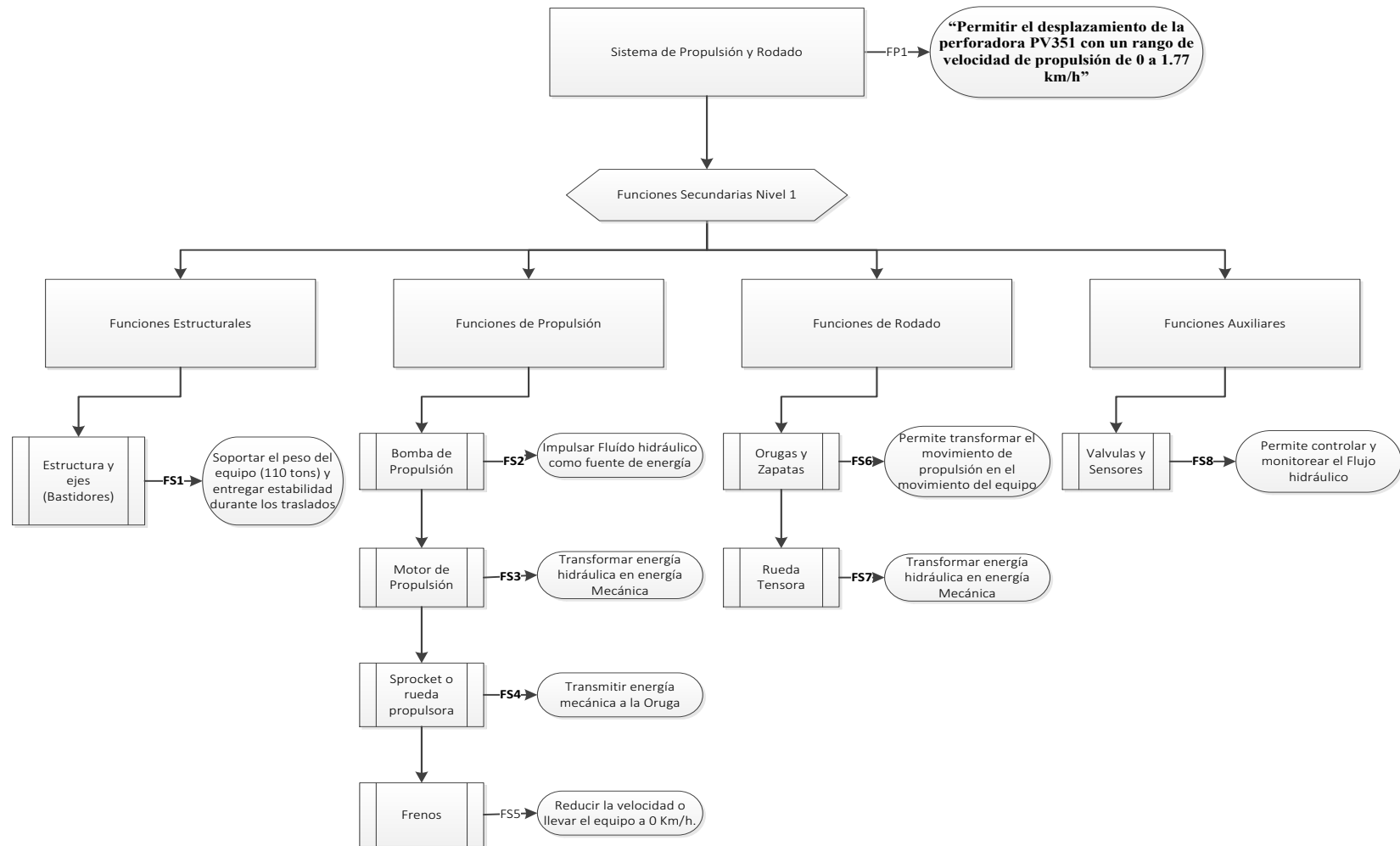


Figura 69. Análisis Funcional de Sistema de rodado y Propulsión. [Fuente: Elaboración Propia]

Anexo 11: Árbol de decisión del MCC

ÁRBOL DE DECISIÓN (SAE JA1012)

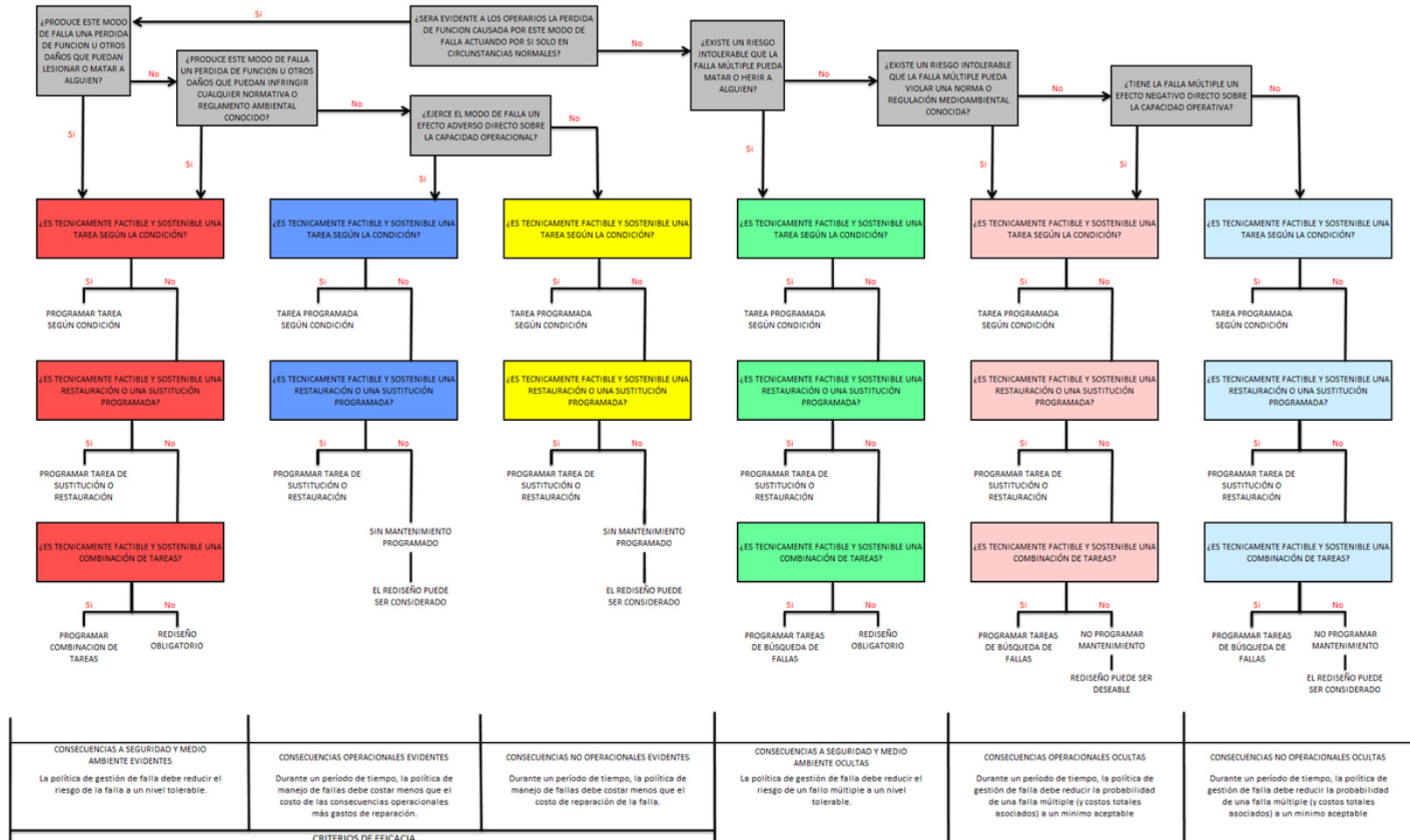


Figura 70. Árbol de decisión MCC. [Fuente: Norma SAE JA1012, adaptación]