

**Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Industrial**



**Propuesta de un Plan de Mantenimiento basado en
la metodología RCM II para los equipos críticos del
proceso minero de la Compañía Minera Cerro
Negro.**

Por:

Valeria Andrea Figueroa Terrazas

Trabajo de Título para optar al Grado de
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y título de
Ingeniería Civil Industrial

Prof. Guía: Augusto Vargas Schüler

Abril, 2017

Agradecimientos

Quisiera agradecer en primer lugar a mi familia por brindarme todo su apoyo en este largo camino de formación profesional, en especial a mis padres Fernando Figueroa y María Teresa Terrazas, y a mi hermano Fernando Sebastián, quienes han sido un pilar fundamental en esta importante etapa, sin su esfuerzo, contención y amor incondicional la culminación de esta etapa no habría sido posible. Agradezco profundamente los sabios consejos de mis padres y la motivación por seguir adelante en los momentos difíciles, me siento muy afortunada y orgullosa de tenerlos, los amo.

Quiero agradecer a mis tatas Luis Figueroa y Guillermina Espinoza por tenerme siempre presente en sus oraciones y encomendarme a Dios para que sea conmigo en todo momento.

Agradezco también a mis amigos por compartir cada uno de mis logros y darme ánimo en momentos difíciles, en especial a mis queridos Felipe, Francisca y Natalia, a quienes agradezco el apoyo, cariño, paciencia y comprensión cada vez que lo necesité, muchas gracias.

Gracias a todos aquellos que de alguna u otra forma han contribuido en esta importante etapa de formación.

Finalmente quiero agradecer al profesor Augusto Vargas por su valiosa colaboración y disposición, lo cual fue fundamental para el desarrollo del presente Trabajo de Título.

Índice

Lista de Abreviaturas	7
Lista de símbolos	8
Lista de Figuras	9
Lista de Tablas	9
Resumen	11
Summary	13
Introducción.....	15
1. Antecedentes Generales de la empresa.....	16
1.1 Reseña Histórica	16
Descripción de la empresa	17
Misión	17
Valores Corporativos	17
Visión	18
Organigrama.....	18
1.2 Procesos Productivos.....	20
Mina	20
Planta de sulfuros	21
Planta de óxidos	22
Diagrama de Procesos	24
1.3 Proceso Minero	25
Planificación de la producción	25
Carguío	27
Transporte	27
1.4 Proceso de mantenimiento.....	29
Proceso de mantención Equipos RML.....	29
Mantención preventiva.....	30
Mantención correctiva y reparación mayor	30
1.5 Descripción de la situación actual	34
Elección de equipos.....	36
Criticidad de los equipos en el proceso	38

Tiempo efectivo	38
Cantidad de fallas en los equipos	40
Tiempo entre fallas	40
Disponibilidad	41
Costos asociados a mantención	42
Excavadora Komatsu PC800	43
Perforadora Junjin 1300 N°1	44
1.6 Descripción del problema	45
Causas del problema	47
Consecuencias del problema	53
1.7 Metodologías aplicables para la solución del problema	56
RCM II (Mantenimiento centrado en la confiabilidad)	56
TPM (Mantenimiento productivo total)	57
AMFEC (Análisis de modos, Efectos de Fallas y Criticidad)	58
Metodología aplicada por otras empresas para dar solución al problema	59
1.8 Objetivos y resultado esperado	60
Objetivo general	61
Objetivos específicos	61
Resultado esperado	62
1.9 Limitaciones	62
2. Metodología	64
2.1 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM II	64
2.2 RCM II: 7 preguntas básicas	65
Funciones y parámetros de funcionamiento	65
Fallas funcionales	66
Modos de falla	67
Efectos de falla	67
Consecuencias de falla	68
Tareas proactivas	69
Acciones a falta de	70
2.3 Herramientas integradas para el desarrollo de la metodología RCM II	72
Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (AMFE)	72

2.4	Diagrama de decisión.....	72
2.5	Herramientas clave para la aplicación de la metodología RCM II.....	75
2.5.1	Tipos de mantenimiento.....	75
2.5.3	Indicadores de gestión de mantenimiento	76
2.5.3.1	Tiempo medio entre fallas (MTBF).....	77
2.5.3.2	Tiempo medio de reparación (MTTR).....	77
2.5.3.3	Disponibilidad.....	77
2.6	Diagrama de Flujo: Aplicación de la metodología RCM II	78
	Información de entrada del RCM II	78
	Información de salida del RCM II.....	79
2.7	Resumen Capítulo 2: Metodología.....	81
3.	Aplicación de la metodología.....	82
3.1	Indicadores de gestión de mantenimiento.....	82
3.2	Descripción de los sistemas y subsistemas a analizar.....	83
3.2.1	Excavadora Komatsu PC800.....	83
	Sistema Hidráulico y subsistemas	84
	Sistema Eléctrico y subsistemas	84
	Sistema Estructural y subsistemas	85
3.2.2	Perforadora Junjin.....	87
	Sistema Hidráulico y subsistemas	88
	Sistema Mecánico y subsistemas.....	88
	Sistema Retopercutor y subsistemas	89
3.3	Grupo de análisis	92
3.4	Análisis de Modos de Fallas y sus Efectos (AMFE).....	93
3.5	Diagrama de decisión RCM II	94
3.6	Elaboración de Procedimiento Operativo Estándar (POE) para formulación de propuesta de plan de mantenimiento para los equipos críticos del área de perforación y carguío de la CMCN.....	96
3.7	Resumen Capítulo 3: Aplicación de la metodología.....	98
4.	Análisis de resultados	99
4.1	Análisis de criticidad y selección de equipos	99
4.2	Identificación de los modos de falla, efecto y funciones de los equipos críticos	100

4.3 Clasificación de tareas y planificación del mantenimiento.	102
4.4 Análisis de Costos.....	103
4.5 Resumen Capítulo 4: Análisis de resultados.....	105
5. Conclusiones y recomendaciones	106
5.1 Conclusiones.....	106
5.2 Recomendaciones	108
Bibliografía.....	110
Anexos	111
Anexo 1.1 Perforación.....	111
Anexo 1.2 Tronadura	112
Anexo 1.3 Encuesta Selección de equipos críticos.....	113
Anexo 1.4 Encuesta Identificación de causas.....	114
Anexo 1.5 Encuesta identificación de causas	115
Anexo1.6 Ficha técnica excavadora Komatsu PC800	116
Anexo 1.7 Ficha técnica perforadora Junjin 1300 N°1	118
Anexo 3.1 Hojas de Información RCM II	120
Anexo 3.2 Hojas de Decisión RCM II.....	126
Anexo 3.3 Procedimientos Operativos Estándar.....	132
Anexo 3.4 Detalle de costos	138
Anexo 3.5 Propuesta Plan de Mantenimiento CMCN	140

Lista de Abreviaturas

CMCN: Compañía Minera Cerro Negro.
RML: Rajo Media Luna.
CORFO: Corporación de Fomento de la Producción.
ENAMI: Empresa Nacional de Minería.
TPH: Toneladas por hora.
PLS: Solución de lixiviación concentrada.
SX: Extracción por solvente.
EW: Electro winning.
AMFE: Análisis de Modos de Fallas y sus Efectos.
E: Consecuencias ambientales.
F: Función principal.
f: Falla
fa: Falla acumulada.
FF: Falla funcional.
FM: Modo de falla.
fr: Frecuencia relativa.
H: Consecuencias de falla oculta.
H1, S1, O1, N1: Factibilidad de realizar tareas a condición.
H2, S2, O2, N2: Factibilidad de tareas de reacondicionamiento cíclico.
H3, S3, O3, N3: Factibilidad de realizar tareas de sustitución cíclicas.
H4: Factibilidad de realizar búsqueda de fallas.
H5: Factibilidad de daño al medio ambiente o a la seguridad.
MTBF: Tiempo medio entre fallas.
MTTR: Tiempo medio para la reparación.
O: Consecuencias operacionales.
RCM II: Mantenimiento centrado en la confiabilidad.
S: Consecuencias en la seguridad.
POE: Procedimiento operativo estándar.

Lista de símbolos

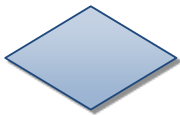
Diagrama de flujo.



Inicio o final de proceso.



Ejecución de un proceso o actividad.



Toma de decisión.



Subproceso necesario para que se tome una decisión.



Señalización de dirección del proceso.

Lista de Figuras

Figura 1.1 Organigrama CMCN.....	19
Figura 1.2 Proceso Minero.	21
Figura 1.3 Diagrama de proceso “Planificación Minera”	24
Figura 1.4 Diagrama de flujo “Planificación Minera”.....	26
Figura 1.5 Gráfico de producción minera CMCN v/s empresas contratistas	28
Figura 1.6 Participación de contratistas en la producción minera de la CMCN.	29
Figura 1.7 Diagrama de flujo de Mantenimiento preventiva CMCN.....	32
Figura 1.8 Diagrama de flujo de Mantenimiento correctiva y reparación mayor CMCN.	33
Figura 1.9 Jerarquización de equipos..	35
Figura 1.10 Distribución de costos de mantenimiento de equipos mineros.....	36
Figura 1.11 Distribución de horas cronológicas.....	38
Figura 1.12 Costos de mantenimiento presupuestado v/s mantenimiento real.	45
Figura 1.13 Costo real v/s costo presupuestado en mantenimiento correctivo.	47
Figura 1.14 Diagrama causa-efecto.	51
Figura 1.15 Diagrama de Pareto.	52
Figura 1.16 Recursos asignados a mantenimiento correctivo.	54
Figura 1.17 Producción anual CMCN v/s contratistas.	54
Figura 1.18 Diagrama causa-problema-consecuencia	55
Figura 1.19 Resumen de metodologías aplicables al Trabajo de Título.....	62
Figura 2.1 Diagrama de Decisión.	74
Figura 2.2 Aspectos de la confiabilidad operacional.	76
Figura 2.3 Diagrama de aplicación de la metodología RCM II.	80
Figura 3.1 excavadora Komatsu PC800.....	84
Figura 3.2 Vista general del equipo.....	86
Figura 3.3 Vista general del equipo.....	90
Figura 3.4 Grupo de análisis RCM II.	92
Figura 4.1 Jerarquización de equipos según encuesta a expertos.....	99

Lista de Tablas

Tabla 1.1 Listado de equipos CMCN.....	34
Tabla 1.2 Listado de equipos críticos de la CMCN.....	38
Tabla 1.3 Tiempo efectivo.	39
Tabla 1.4 Horas de mantenimiento.	39
Tabla 1.5 Número de fallas por equipo.	40
Tabla 1.6 Tiempo medio entre fallas.	41
Tabla 1.7 Disponibilidad de equipos críticos CMCN.....	42

Tabla 1.8 Costos asociados a mantención.....	42
Tabla 1.9 Criterios más importantes.....	43
Tabla 1.10 Causas de problema	48
Tabla 1.11 Jerarquización de las causas del problema.....	50
Tabla 1.12 Causas más relevantes.....	53
Tabla 1.13 Ventajas y desventajas de RCM II.....	57
Tabla 1.14 Ventajas y desventajas de TPM.....	58
Tabla 1.15 Ventajas y desventajas de AMFEC	58
Tabla 1.16 Matriz de decisión.....	59
Tabla 2.1 Hoja de Información RCM II.....	72
Tabla 2.2 Hoja de Decisión RCM II	73
Tabla 3.1 Tiempos de respuesta.....	82
Tabla 3.2 Indicadores de gestión	83
Tabla 3.3 Funciones y modos de falla subsistemas de la excavadora PC800.....	87
Tabla 3.4 Funciones y modos de falla subsistemas de la perforadora Junjin	91
Tabla 3.5 Extracto Hoja de Información RCM II.....	94
Tabla 3.6 Consecuencias, tareas proactivas y acciones a falta de.....	95
Tabla 3.7 Extracto hoja de decisión subsistema Bomba excavadora PC800.....	96
Tabla 3.8 Extracto POE excavadora Komatsu PC800.....	97
Tabla 4.1 Análisis criterios de equipos críticos.....	100
Tabla 4.2 Planificación de mantenimiento propuesto.....	102
Tabla 4.3 Costos de mantención equipos críticos para el año 2015.....	103
Tabla 4.4 Costos de mantenimiento correctivo excavadora PC 800 con RCM II.	104
Tabla 4.5 Costos de mantenimiento correctivo perforadora Junjin con RCM II.....	104
Tabla 5.1 Programación de mantenciones preventivas.....	107
Tabla 5.2 Comparación costos actuales v/s RCM II.....	108

Resumen

Palabras claves: *Mantenimiento preventivo, Mantenimiento correctivo, Equipos críticos, CMCN, Metodología RCM II y Plan de Mantenimiento.*

El presente Trabajo de Título se realizó en el Departamento de Mantención de Equipos Mina de la Compañía Minera Cerro Negro durante el año 2016. Este Departamento se encarga de realizar el mantenimiento preventivo y correctivo a los equipos pertenecientes al Proceso Minero.

Se realizó un análisis de los equipos de acuerdo a distintos parámetros, tales como, tiempo de operación, número de fallas, tiempo entre fallas, disponibilidad y costos de mantenimiento. Este análisis sumado a una encuesta a expertos realizada a los encargados de las áreas de Mantenimiento, Operaciones y Control de Gestión permitió realizar la elección de equipos críticos de las áreas de Perforación y Carguío, seleccionando como objeto de estudio a la Perforadora Junjin N°1 y Excavadora Komatsu PC800.

En el análisis se detectaron falencias en el mantenimiento preventivo, ya que los equipos críticos de las áreas de Perforación y Carguío presentan un elevado número de fallas lo cual disminuye su disponibilidad, generando un retraso en la producción y un aumento en los costos de mantenimiento correctivo.

Una vez realizado el análisis, se procedió a la selección de la metodología, la cual diera solución a la problemática identificada en la CMCN. La metodología escogida fue RCM II (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) puesto que permite identificar fallas, establecer soluciones de mantenimiento en intervalos determinados de tiempo (mensuales, trimestrales y semestrales), establecer directrices y delegar responsabilidades al personal del área para la ejecución de las tareas, además de la elaboración de un plan de mantenimiento que da respuesta a las necesidades reales de mantenimiento de los equipos.

El desarrollo de la aplicación de la metodología fue llevado a cabo en tres partes:

1° Definición y cálculo de indicadores de gestión de mantenimiento.

2° Aplicación de la metodología RCM II, la cual contempla:

- Definición y función de sistemas y subsistemas.

- Análisis AMFE.
- Evaluación de consecuencias de fallas.
- Definición de tareas de mantenimiento, intervalos de ejecución y responsabilidades.

3° Elaboración de Procedimientos Operativos Estándar (POE) y propuesta de un Plan de Mantenimiento Preventivo.

Una vez realizada la aplicación de la metodología y la elaboración del Plan de Mantenimiento, se realizó un análisis comparativo entre los costos reales incurridos en la mantención de los equipos en estudio y los propuestos bajo la implementación de la metodología RCM II. Obteniendo como resultado la disminución de los costos de mantenimiento correctivo en un 59%.

Finalmente, se elaboró una serie de recomendaciones las cuales pretenden mejorar la gestión de los procesos actuales llevados a cabo por el Departamento de Mantención de Equipos Mina de la Compañía Minera Cerro Negro.

Summary

Keywords: Preventive Maintenance, Corrective Maintenance, Critical Equipment, CMCN, Methodology RCM II, Maintenance Plan.

This Title Work was held in the Department of Equipment Maintenance Mine of the Cerro Negro Mining Company during the year 2016. This department is in charge of performing preventive and corrective maintenance to equipment belonging to the Mining Process.

An analysis of the equipment was performed according to different parameters, such as operating time, number of failures, and time between failures, availability and maintenance costs. This analysis added to a survey to experts made to the managers of the areas of Maintenance, Operations and Control of Management, allowed the selection of critical equipment in the areas of Drilling and Loading, selecting as object of study the Drilling Junjin N° 1 and Komatsu Excavator PC800.

In the analysis, failures were detected in the preventive maintenance, since the critical equipment in the areas of Drilling and Loading have a high number of failures which reduces their availability, generating a delay in production and an increase in corrective maintenance costs.

Once the analysis was done, the methodology was selected, which would solve the problems identified in the CMCN. The methodology chosen was RCM II (Reliability Centered Maintenance), since it allows to identify failures, to establish maintenance solutions at determined intervals of time (monthly, quarterly and semi-annual), establish guidelines and delegate responsibilities to area personnel for the execution of Tasks, as well as the elaboration of a maintenance plan that responds to the actual maintenance needs of the equipment.

The development of the application of the methodology was carried out in three parts:

1° Definition and calculation of maintenance management indicators.

2° Application of the methodology RCM II, which includes:

- Definition and function of systems and subsystems.
- FEMA (Failure Mode and Effects Analysis).
- Assessment of failure consequences.
- Definition of maintenance tasks, execution intervals and responsibilities.

3° Preparation of Standard Operating Procedures (SOP) and proposal of a Preventive Maintenance Plan.

After the application of the methodology and the elaboration of the Maintenance Plan, a comparative analysis was made between the actual costs incurred in the maintenance of the equipment under study and those proposed under the implementation of the RCM II methodology. Resulting in the reduction of corrective maintenance costs by 59%.

Finally, a series of recommendations were developed which aim to improve the management of the current processes carried out by the Department of Equipment Maintenance Mine of the Cerro Negro Mining Company.

Introducción

El mantenimiento de activos, actualmente es considerado como uno de los factores más importantes dentro de toda industria, ya que su objetivo fundamental es incrementar la productividad de los equipos dentro del proceso, generar confiabilidad a los procesos y prolongar su vida útil. Dicho mantenimiento puede ser preventivo, correctivo y predictivo.

Compañía Minera Cerro Negro es una empresa dedicada a la explotación de minerales oxidados, sulfurados de cobre y plata, con producciones de cátodos, sales y concentrados de cobre. Para llevar a cabo las operaciones la empresa cuenta con 38 equipos, los cuales son la base fundamental para poder cumplir con el programa de producción mensual. [CERRO NEGRO S.A.015].

En la actualidad, CMCN carece de un plan de mantenimiento eficiente para sus equipos, generándose un gran número de detenciones imprevistas producto de averías, lo cual provoca un aumento en los costos de mantenimiento, disminuye la disponibilidad de los equipos y genera un retraso en la producción.

El presente Trabajo de Título se desarrolló en base al análisis de la situación actual de los equipos involucrados en el proceso minero llevado a cabo por la CMCN, para luego seleccionar en base a distintos criterios los equipos críticos dentro de la operación con el objetivo de dar solución a la problemática identificada, la cual se traduce en *“altos costos en mantenciones correctivas producto de un inadecuado mantenimiento preventivo”*.

Para dar solución a este problema se seleccionó la metodología RCM II, la cual en conjunto con herramientas complementarias se encargan de identificar modos de falla y sus efectos, las consecuencias y naturaleza de las fallas, para luego proponer tareas preventivas que permitan mejorar la confiabilidad de los activos en el proceso, disminuir costos por mantenimiento correctivo y mejorar la disponibilidad de los equipos. La aplicación de la metodología y de las herramientas complementarias permitieron generar una propuesta de plan de mantenimiento preventivo para los equipos críticos de las áreas de perforación y carguío de la Compañía Minera Cerro Negro, la que se detalla en el presente Trabajo de Título.

1. Antecedentes Generales de la empresa

A continuación, se presentará una descripción general de la Compañía Minera Cerro Negro, la cual comprenderá las unidades que la componen, sus procesos productivos, permitiendo la identificación y planteamiento del problema, establecer objetivos generales y específicos y analizar metodologías aplicables que permitan dar solución al problema.

1.1 Reseña Histórica

El siguiente apartado contiene información extraída del sitio web oficial de la empresa www.cerronegro.cl.

La gestación de la sociedad de Cerro Negro comenzó en 1942 con la participación de CORFO y la Compañía Minera Punitaqui S.A. La inauguración se realizó el día 23 de Julio de 1944 contando con la asistencia del presidente de la república de aquel entonces, Juan Antonio Ríos.

El año 1955 la compañía se convirtió en una sociedad anónima con la participación de CORFO, la Caja de Crédito y Fomento Minero, CMP y los aportes de minas particulares.

Posteriormente, y hasta 1975 ENAMI instaló y mantuvo su planta regional lo que significó una gran reactivación de la minería en la zona.

La empresa debido a la gran recesión económica permaneció cerrada desde noviembre del año 1981 hasta agosto de 1983, cuando bajo la administración de Andrónico Luksic Abaroa se reabre la Compañía Minera Cerro Negro S.A., elevando los niveles de producción de sulfuros de 25.000 (ton/mes) a 49.000 (ton/mes).

Después de 13 años de explotación, los niveles de producción dejan de cumplir las expectativas de Antofagasta Holding, perteneciente al Grupo Luksic, quienes, en noviembre del año 1966, toman la decisión de cerrar el yacimiento. Frente a este panorama, la administración de ese entonces le plantea a Andrónico Luksic la compra de la compañía. Desde ese entonces hasta hoy, esta empresa se ha mantenido en operación.

En el año 1997 se iniciaron las operaciones de la Planta de Lixiviación cuyo producto era precipitado de cobre. Esta planta operó hasta el 2002.

A comienzos del año 2001 se construye la Planta Electrowinning con capacidad de producción de 60 (ton/mes) de cátodos de cobre. Actualmente esta planta produce 5.500 (ton) de cátodos al año.

Descripción de la empresa

Compañía Minera Cerro Negro es una empresa dedicada a la explotación de minerales oxidados, sulfurados de cobre y plata, con producciones de cátodos, sales y concentrados de cobre.

Está ubicada a 210 km al noreste de Santiago, sector Pitipeumo de la Comuna de Cabildo, Provincia de Petorca, Quinta Región de Valparaíso.

El principal proyecto minero de la compañía lo constituye el sector Rajo Media Luna-Chiringo, evaluado para ser trabajado a cielo abierto, con producción de 50.000 (ton/mes) entre minerales sulfurados y oxidados. El movimiento promedio del sector es de 350.000 (ton/mes), realizados con combinaciones excavadora-camión. [CERRO NEGRO S.A.].

Misión

“Ser una compañía dedicada a la extracción de minerales y producción de cátodos y concentrados de cobre, que maximiza su rentabilidad a través de proyectos de desarrollo sustentables e innovadores y entregando a sus clientes productos de calidad, cuidando la seguridad, el medioambiente y la calidad de vida de sus trabajadores y de la comunidad”

Valores Corporativos

Excelencia

Hacemos el trabajo de acuerdo a estándares de calidad, apegado a procedimientos, oportunamente y cuidando los recursos.

Compromiso

Dedicamos al logro de objetivos toda la energía y tiempo requeridos, aportando con un esfuerzo especial, cuando el trabajo lo demande.

Respeto

Tratamos a las personas de forma considerada y cuidadosa, demostrando aprecio por quienes trabajamos en Cerro Negro.

Responsabilidad

Quienes trabajamos en Cerro Negro nos hacemos cargo de los resultados que obtenemos, de nuestra propia seguridad, del cuidado del medio ambiente y de la relación con la comunidad.

Visión

“Ser una empresa innovadora y exitosa en el mercado de la minería”.

Organigrama

Para el desarrollo de los procesos productivos, la compañía cuenta con 577 trabajadores, entre personal directo, contratistas de operaciones y de servicios distribuidos en las distintas áreas.

A continuación, en la Figura 1.1 se muestra la estructura organizacional de la Compañía Minera Cerro Negro S.A.

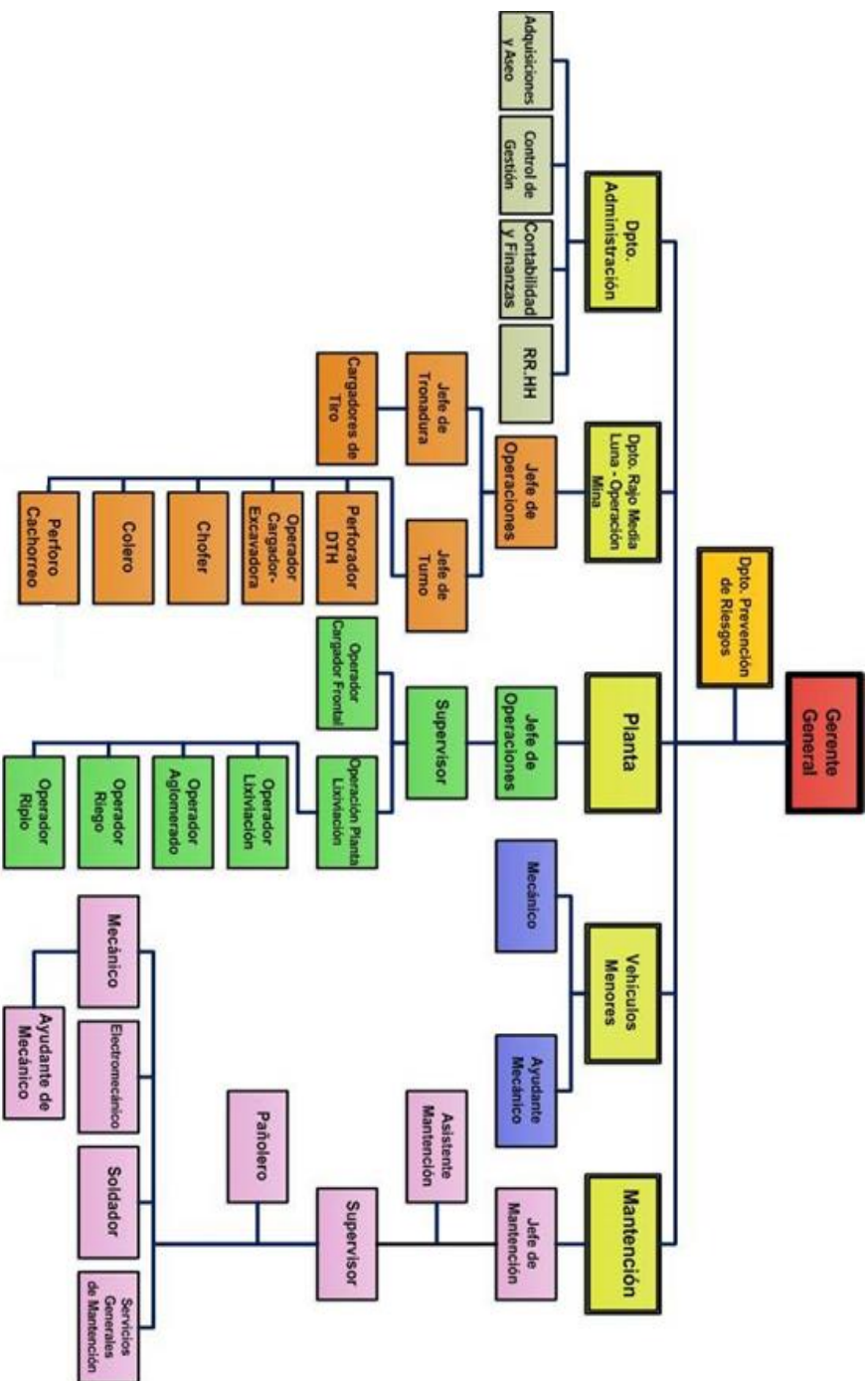


Figura 1.1 Organigrama CMCN
Fuente: Administración RML

1.2 Procesos Productivos

A continuación, se presentan los procesos productivos llevados a cabo por la CMCN extraídos del sitio web oficial www.cerronegro.cl.

Mina

Proceso Minero

Actualmente la explotación minera se concentra en los sectores de Pirquitas y Rajo Media Luna, a través del método cielo abierto. La producción propia es de 20.000 (ton/mes) de sulfuros y 50.000 (ton/mes) de minerales oxidados de cobre.

Existe un aporte de minas externas, mineral que llega a Cerro Negro a través de tarifas de compra.

En base a la información geológica disponible, Ingeniería Mina planifica la producción minera, generando proyectos de explotación que son trabajados con recursos propios o de terceros.

El principal proyecto minero de la compañía lo constituye el sector Rajo Media Luna-Chiringo, evaluado para ser trabajado a cielo abierto, con producción de 50.000 (ton/mes) entre minerales sulfurados y oxidados. El movimiento promedio del sector es de 350.000 (ton/mes), realizados con combinaciones excavadora-camión. [CERRO NEGRO S.A.16].

El proceso productivo se inicia con la perforación DTH de mallas en estéril y mineral. Una vez tronado el material, se remueve con flotas de camiones convencionales y de alto tonelaje, todos ellos apoyados con excavadoras de 30 a 50 (ton). El mineral es acopiado en el sector stock del Rajo Media Luna y el estéril enviado a botadero. El transporte final desde la mina a la planta, se realiza con camiones convencionales. [CERRO NEGRO SA.16].



Figura 1.2 Proceso Minero.
Fuente: Elaboración propia.

Planta de sulfuros

El mineral sulfurado es llevado a la planta de sulfuros para ser tratado y convertido en producto final, el cual es una pulpa concentrada con una pureza de 23% a 24% de cobre. A continuación, se detalla dicho proceso.

Recepción y chancado

El proceso industrial se inicia con el pesaje y recepción del mineral en las canchas de acopio, para luego reducirlos de tamaño en una línea de chancado de tres etapas en circuito abierto, hasta un tamaño final inferior a 3/8". La capacidad instalada de chancado es de 80.000 (ton/mes).

Planta Concentradora

El mineral sulfurado chancado es almacenado en 4 silos de 320 (ton) de capacidad cada uno, para luego ser procesados mediante molienda húmeda a través de 4 molinos de bolas de rendimiento total 50 TPH. La etapa de molienda entrega una pulpa con 38% de sólidos y tamaño 60% inferior a 200 Mesh (malla Tyler), la cual es enviada a la etapa de flotación.

La pulpa mineral es acondicionada con reactivos y posteriormente flotada en celdas Wenco de 500 y 1000 (ft³), obteniendo un concentrado final de 18-25% Cu. El concentrado obtenido es espesado, filtrado y acopiado en la cancha de embarque para su despacho final.

El relave obtenido del proceso, es bombeado a través de 2 tuberías de 7" de diámetro y 3 (km) de largo, hasta el tranque Nro. 6. El agua recuperada en el tranque es bombeada a la planta para utilizarla en el proceso.

Planta de óxidos

Aprovechando la capacidad ociosa de chancado de la planta de sulfuros, el mineral oxidado proveniente de la mina es reducido de tamaño hasta un tamaño 100% inferior a 3/8". El mineral se acopia en el stock de óxidos y luego es cargado y transportado hasta el sector de aglomerado. Una vez chancado, el mineral se aglomera en un tambor aglomerador, agregando ácido en una concentración de 30-40 (gr/ton).

El mineral aglomerado es cargado en pilas o módulos previamente acondicionados de altura entre 1.8 a 2.2 (m), dando inicio a la etapa de lixiviación mediante el riego con refino proveniente de la planta SX. Las pilas son regadas por medio de aspersión por espacio de 60-90 días, hasta que el 70-75% del cobre soluble contenido ha sido extraído en el porcentaje antes mencionado.

El cobre recuperado se encuentra en la solución obtenida en el proceso de lixiviación (PLS), la cual es recolectada por canaletas y acumulada en piscinas de decantación. Ésta solución es bombeada a la planta de Extracción por Solventes.

Las pilas con baja concentración de cobre luego de ser lixiviadas, son cargadas y transportadas al botadero de rípios de la planta.

La extracción por solventes corresponde a un proceso en el cuál una solución con contenido de cobre (PLS) es contactada con un reactivo orgánico (Extractante + Diluyente), el cuál es capaz de extraer y reextraer cobre contenido en forma selectiva, dependiendo del grado de acidez de la solución de contacto.

En el caso de la Compañía Minera Cerro Negro, el PLS proveniente de la planta de lixiviación es bombeado a la planta SX con un flujo de entrada de 3.500 (l/min) correspondiente al circuito EW.

El mecanismo de extracción y reextracción se realiza en equipos mezcladores-decantadores, revestidos con fibra de vidrio. La solución con alta concentración de cobre (electrolito) es enviada a la planta EW y la solución de refino con alta concentración de ácido es bombeada a la planta de lixiviación.

En la etapa EW, se disponen celdas electrolíticas cargadas con láminas iniciales de cobre, que corresponden a delgadas planchas de cobre dispuestas en forma paralela con ánodos de plomo, Se crea una diferencia de potencial en la celda, haciendo pasar un flujo de corriente continua generado por un Transforectificador de 15 (KA) y 50 (V).

Producto de la corriente generada, los iones de cobre libres en el electrolito migran hacia los cátodos, obteniendo al cabo de 7 días de ciclo, cátodos de cobre de 60 (Kg) y 99.998% de ley.

Parte de la fase orgánica cargada - orgánico cargado debido a su alto contenido de cobre - es puesta en contacto con una fase acuosa saturada en sulfato de cobre y con alta acidez, en un reactor de cristalización por saturación. La planta mantiene operativos 4 cristalizadores.

En la cristalización se forma una pulpa de sulfato pentahidratada, la cual es tratada en una batería de lavadores, para eliminar ácido y orgánico arrastrado de etapas anteriores.

La pulpa con 30% de humedad es centrifugada, obteniendo sulfato de 4% de humedad.

La siguiente etapa consiste en alimentar un horno giratorio cilíndrico para el secado definitivo de sulfato. Luego del horno, el sulfato es clasificado por tamaño de acuerdo a pedidos preestablecidos, se agregan reactivos para estabilizar el producto y se envasa para su comercialización.

La capacidad instalada de la planta es de 500 (ton/mes) de sulfato de cobre pentahidratado.

A continuación, en la Figura 1.3 se encuentra el diagrama de procesos de la Compañía Minera Cerro Negro.

Diagrama de Procesos

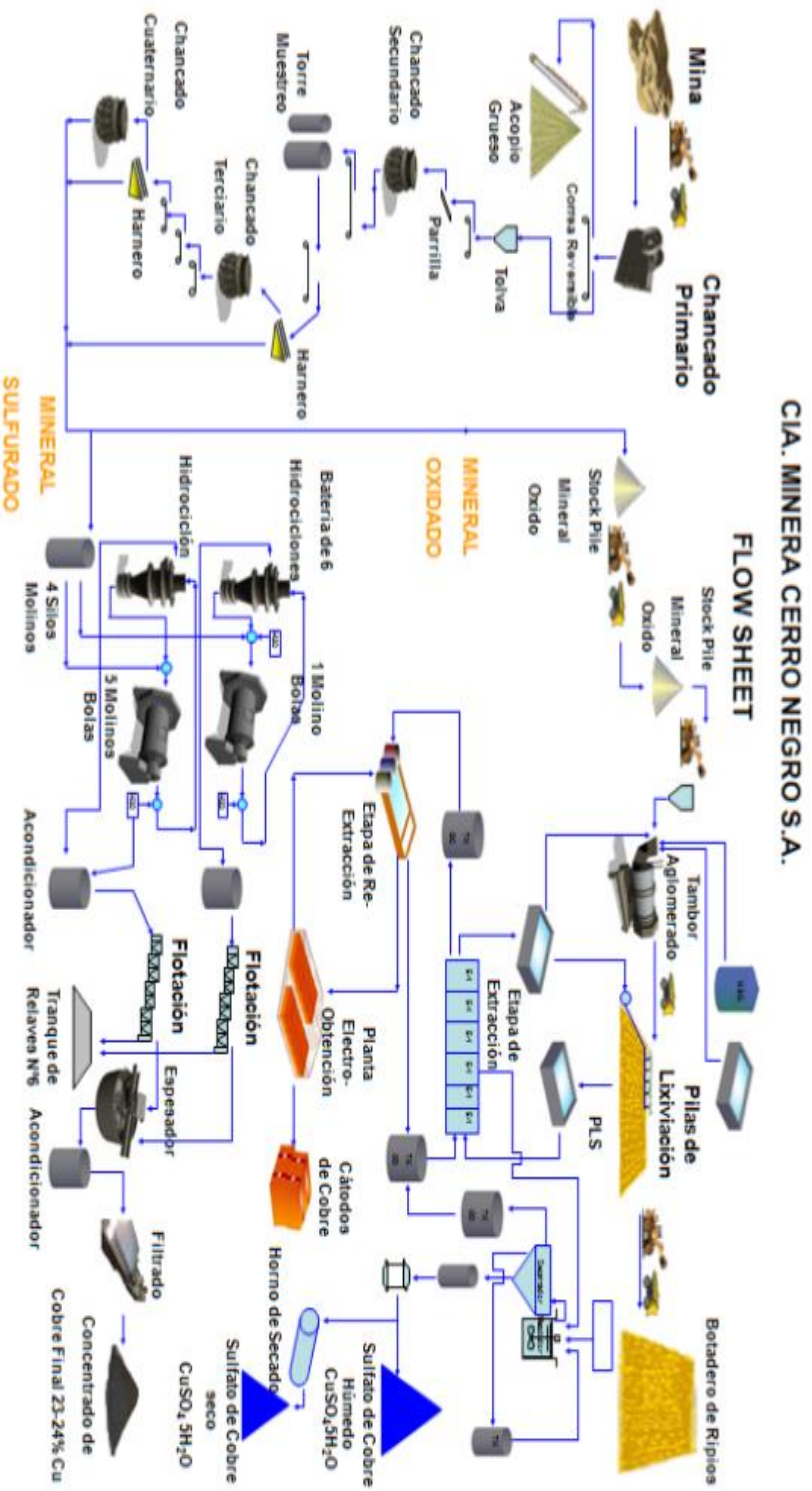


Figura 1.3 Diagrama de proceso "Planificación Minera".
Fuente: Administración RML.

1.3 Proceso Minero

El presente estudio se centrará en el Proceso Minero llevado a cabo en el RML, específicamente en el proceso de Carguío y Transporte de material; puesto que significan mayor costo de inversión en equipos, mantenciones y donde la falla o indisponibilidad sugiere contratación de terceros para poder realizar el proceso. Cabe destacar que el RML es administrado por la CMCN y operacionalmente trabajado con recursos externos a la compañía.

Planificación de la producción

Consiste básicamente en determinar los sectores del RML a explotar, la cantidad estimada de tonelaje de material a remover para la obtención de mineral sulfurado y oxidado para ser procesados posteriormente.

Esta etapa involucra un gran despliegue de recursos, los cuales involucran a las áreas de Geología, Ingeniería, administración del RML y Mantenición.

En base a la información geológica disponible, el área de Ingeniería en Mina planifica la producción minera, generando proyectos de explotación que son trabajados idealmente con recursos propios o con ayuda de terceros.

Ingeniería en Mina envía al área de Operaciones el proyecto de explotación y ésta designa los equipos necesarios para realizar el trabajo, realiza la distribución de los equipos en los sectores de trabajo y solicita al área de Mantenición dichos equipos en condiciones óptimas para poder operar. [CERRO NEGRO S.A. 16].

El objetivo principal del área de Mantenición es asegurar la disponibilidad de los equipos en los plazos planificados, mediante mantenciones programadas, mantenciones correctivas en el caso de reparación de componentes o estructuras de equipos, las cuales no requieren más de 48 (h) con el equipo detenido fuera de servicio y reparaciones mayores las que requieren más de 48 (h) de intervención y deben ser programadas. [PROTOCOLO300-01].

Cuando Mantenición no logra cumplir con los plazos de reparación de los equipos, CMCN debe solicitar equipos externos para poder llevar a cabo sus procesos, ya que la no disponibilidad de equipos conlleva a la no producción, lo que se traduce en un incumplimiento de contrato.

En la Figura 1.4 se explica el diagrama de proceso correspondiente a la planificación previa al proceso de explotación.

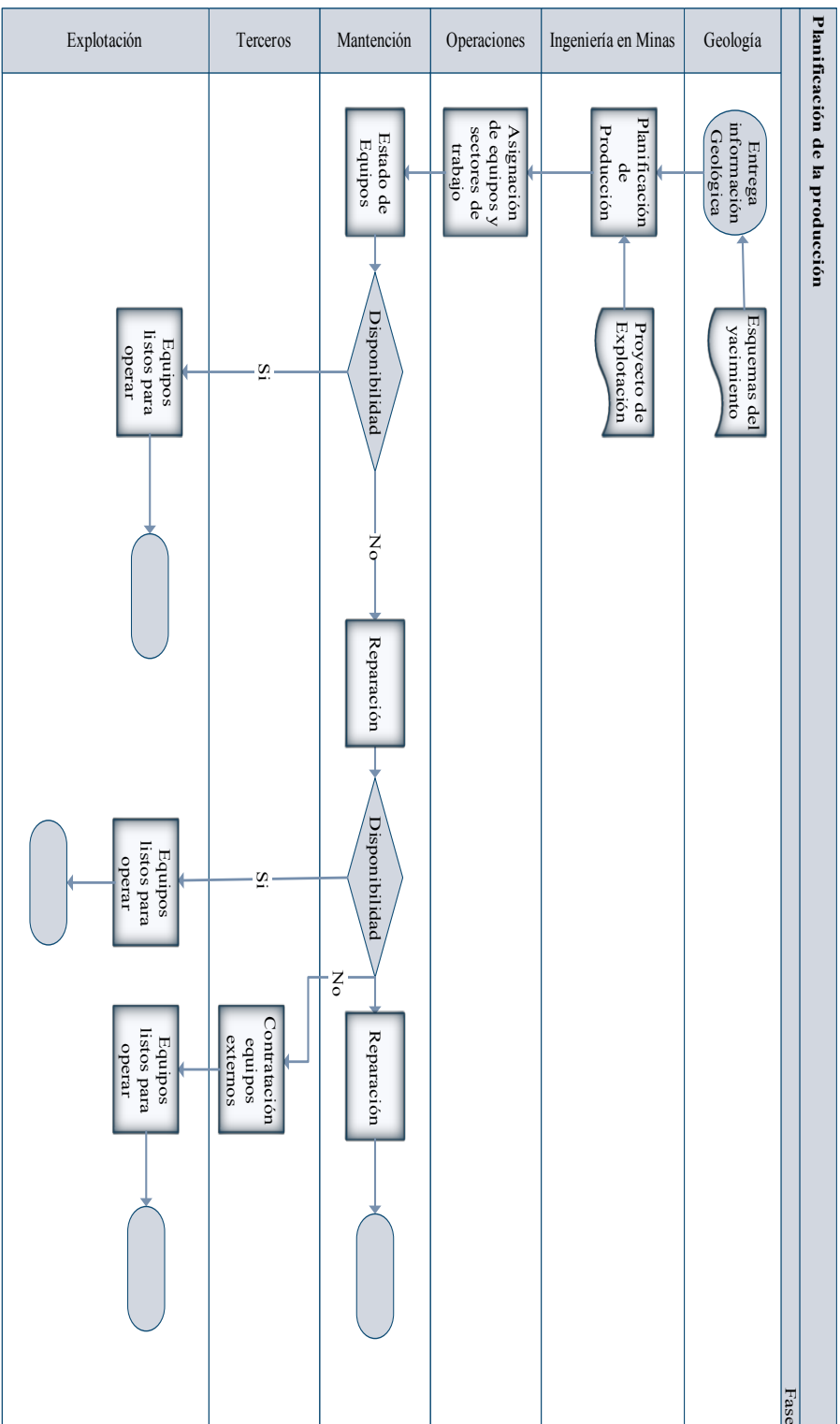


Figura 1.4 Diagrama de flujo “Planificación Minera”.
Fuente: Elaboración propia.

El proceso de explotación minero cuenta con cuatro operaciones básicas, las cuales son Perforación, Tronadura, Carguío y Transporte. De las cuales Perforación y Tronadura se encuentran explicadas en los Anexos 1.1 y 1.2 respectivamente.

A continuación, se detallan los procesos de Carguío y Transporte de material, los cuales se relacionan directamente con el objeto de estudio.

Carguío

El carguío es una de las operaciones fundamentales que se realizan en el RML, consiste en cargar mineral y estéril para ser conducido a las canchas de acopio y a botaderos respectivamente.

Esta operación se lleva a cabo mediante la combinación de excavadora - camión, donde cada excavadora alimenta a 3 camiones. Durante el carguío el operador de la pala debe tener un cuidado único al descargar, procurando no dejar caer de forma brusca el material para evitar daños en la tolva del camión, ya que éste es motivo recurrente de falla.

Una vez finalizada la operación, el operador de la excavadora da aviso por radio al operador del camión para que éste se retire del área y haga ingreso el siguiente camión.

Para llevar a cabo la operación de carguío se utilizan las excavadoras mencionadas a continuación; excavadoras Komatsu PC800, PC600, PC450, CAT330 y Doosan Solar 500. [Protocolo200-03].

Transporte

La operación se inicia desde el momento en que el camión sale de la zona de carguío siguiendo las rutas definidas y en la dirección establecida de acuerdo a la carga que lleva.

Si se trata de mineral éste puede ser llevado a las canchas de acopio para ser almacenado diferenciando sulfuros de óxidos.

Dependiendo de la planificación del día el mineral puede ser llevado directamente desde la zona de carguío a romana donde se realiza el pesaje y posteriormente el mineral es alimentado al chancador.

Si se trata de estéril, dependiendo de la zona de carguío éste será llevado al botadero más cercano ó al botadero indicado previamente por el jefe de Operaciones del RML.

Una vez terminada la descarga vuelve a la zona de carguío para continuar la operación. Para realizar el carguío se utilizan 9 camiones Shacman con capacidad de tolva de 20 (m³) 3 camiones Shacman con capacidad de 17 (m³) y 3 camiones CAT de alto tonelaje. [PROTOCOLO200-03].

La Figura 1.5 muestra la producción de los últimos tres años de la Compañía resultado del Proceso Minero, se puede apreciar que parte importante del movimiento es realizado por contratistas, tal como se aprecia en la Figura 1.6.

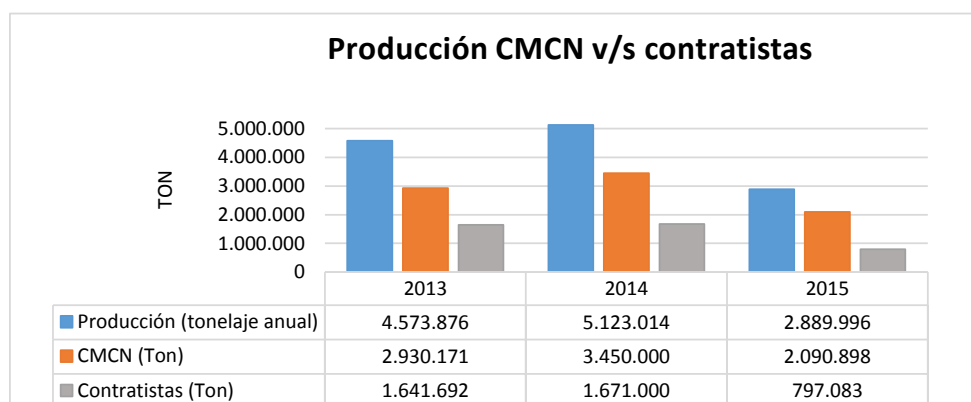


Figura 1.5 Gráfico de producción minera de los últimos años CMCN v/s empresas contratistas
Fuente: Elaboración propia.

Durante el año 2015, los volúmenes de producción disminuyeron en comparación a años anteriores debido al nuevo escenario de producción de la Compañía, la cual se vio afectada por la crítica situación del sector minero, teniendo como bajo precio del cobre como principal factor.

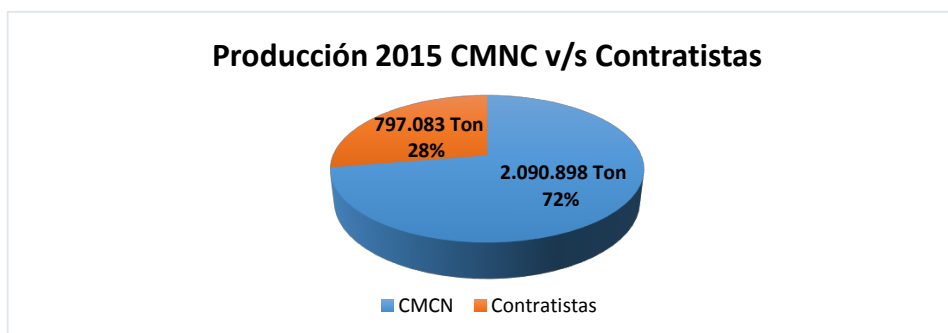


Figura 1.6 Gráfico de participación de contratistas en la producción minera de la CMCN durante el año 2015.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 1.6 muestra el porcentaje de participación de contratistas en la producción del RML correspondiente al año 2015, esta cifra es menor en comparación a años anteriores debido a la disminución de los volúmenes de producción planificados por la Compañía debido a una baja en el precio del cobre.

La presencia de contratistas se debe básicamente a que el área de Mantenimiento no pudo asegurar la disponibilidad de los equipos para poder llevar a cabo la producción minera al 100%, por lo tanto, para poder cumplir con el contrato de tonelaje se solicitó el servicio de contratistas.

1.4 Proceso de mantenimiento

En la CMCN el departamento de Mantenimiento se encuentra físicamente dividido en dos áreas, las cuales trabajan de forma totalmente independiente. Una de ellas está a cargo de la mantención de las plantas de óxidos y sulfuros y la otra encargada de mantener en óptimas condiciones los equipos que participan del proceso minero, ya sea realizando la explotación del yacimiento o aquellos que prestan servicio de apoyo al proceso, manteniendo los accesos al RML y realizando mantención de botaderos.

Para este estudio se analizará el proceso de mantenimiento realizado por el área de mantención a cargo de los equipos involucrados en el proceso minero.

Proceso de mantención Equipos RML

Los objetivos del área de Mantenimiento se centran principalmente en controlar las tareas de mantención, para asegurar la disponibilidad de los activos que participan

directa o indirectamente, en el proceso de producción del RML. [PROTOCOLO300-01].

Dentro de los activos a los cuales se realizan mantenciones, se encuentran los equipos involucrados en el proceso de Perforación, Carguío y Transporte de material, equipos participantes en la mantención del RML y equipos auxiliares de apoyo a la producción.

El personal del área realiza a diario dos tipos de mantenciones, las que serán explicadas según Protocolo300-01 a continuación. [PROTOCOLO300-01].

Mantención preventiva

CMCN realiza una serie de inspecciones periódicas basadas en la experiencia del personal del área y en las recomendaciones del fabricante, siguiendo las pautas de mantención según las horas de operación de cada equipo; con el objetivo de poder operar de forma óptima y prolongar la vida útil de estos.

El proceso se inicia con la autorización del área de Operaciones para retirar el equipo del proceso, siempre y cuando exista reemplazo durante el tiempo estimado para la mantención, la cual está previamente planificada. Para no interrumpir el proceso productivo y evitar cambios de posturas innecesarias generando tiempos muertos, las mantenciones preventivas se realizan generalmente al inicio del turno de trabajo alrededor de las 8:00 y 9:00 horas, y en el turno de noche a las 20:00 y 21:00 horas.

Cada equipo cuenta con una hoja de vida, la cual corresponde al historial donde se lleva registro de todas las intervenciones que se le han realizado. Una vez que el equipo ingresa al taller mecánico es intervenido por el personal del área, quienes mediante un checklist realizan las inspecciones.

Una vez terminado el proceso, el equipo se retira del lugar y se incorpora al proceso. El mecánico a cargo de la mantención ingresa la información a la hoja de vida del equipo, realiza las observaciones correspondientes en caso de existir algún riesgo. El proceso de mantención preventiva se observa en la Figura 1.7.

Mantención correctiva y reparación mayor

La empresa considera como mantenciones correctivas aquellas en las que las intervenciones realizadas tienen que ver con la reparación de componentes o de

estructura del equipo, donde dicha reparación no requiere más de 48 (h) con el equipo fuera de servicio. Cuando el tiempo estimado en la reparación requiere que el equipo esté por más de 48 (h) fuera de servicio, se califica como una reparación mayor. En este caso dicha reparación debe ser programada, ya que por lo general requiere de repuestos que tardan en llegar o mano de obra externa. Dependiendo de la criticidad del equipo CMCN debe solicitar el servicio de contratistas para poder llevar a cabo la operación en forma normal.

El proceso se inicia con el aviso del operador del equipo al jefe de turno, éste último se encarga de gestionar la salida del equipo del RML y el ingreso al taller mecánico donde es intervenido. Una vez que el equipo ingresa al taller es inspeccionado por el personal del área, éste analiza los alcances de la reparación y repuestos que se necesitarán de ser necesario. Si los repuestos no se encuentran disponibles, se realiza la orden de compra para adquirirlos.

Si el tiempo estimado en la reparación requiere que el equipo esté fuera de servicio por más de 48 (h), la mantención correctiva pasará a ser una reparación mayor, la cual será programada y la empresa deberá evaluar la necesidad de contratar servicios externos para continuar la operación y cumplir con el programa de explotación de mineral.

El proceso de mantención correctiva y reparación mayor se observa en la Figura 1.8.

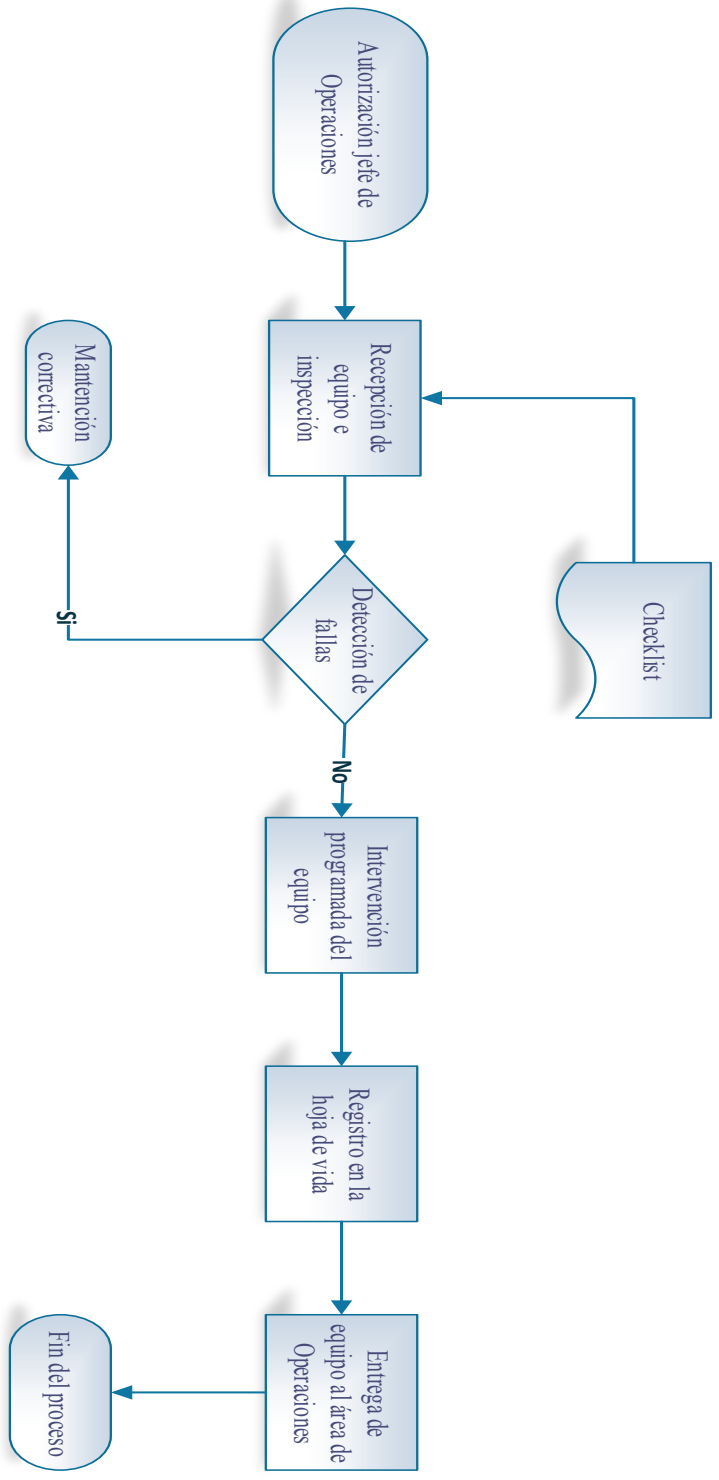


Figura 1. 7 Diagrama de flujo de Mantenición preventiva CMCN.
Fuente: Elaboración propia.

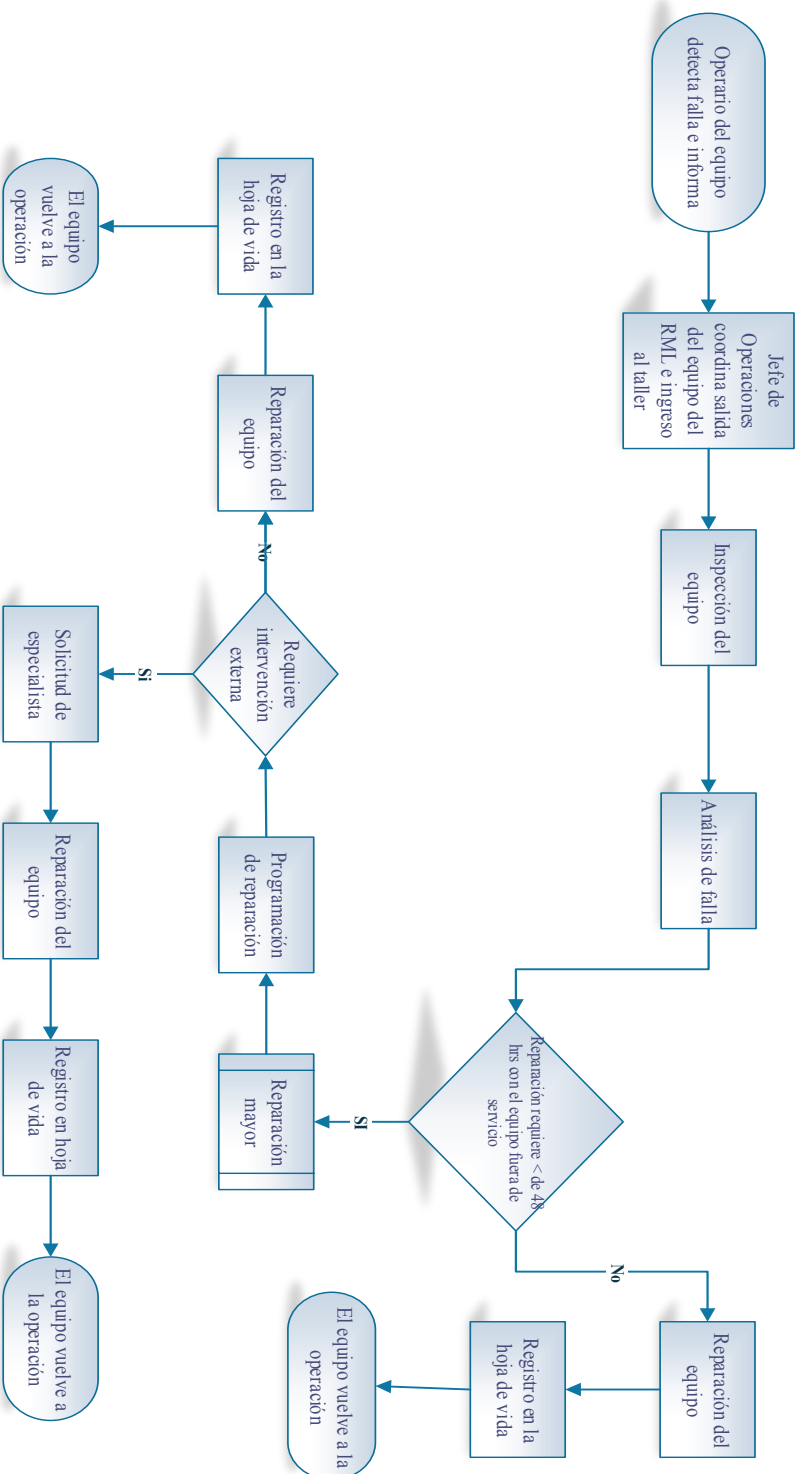


Figura 1.8 Diagrama de flujo de Mantenimiento correctiva y reparación mayor CMCN.
Fuente: Elaboración propia.

1.5 Descripción de la situación actual

Para llevar a cabo las operaciones del RML, CMCN cuenta con una flota conformada por 38 equipos donde se encuentran equipos tanto de operación como de servicio, los cuales están detallados en la Tabla 1.1. Según lista de equipos descrita por el departamento de Control de Gestión de la empresa.

N°	Equipos
1	Excavadora Komatsu PC800
1	Excavadora Komatsu PC600
1	Excavadora Komatsu PC450
1	Excavadora Doosan 450
1	Excavadora Hitachi 450
9	Camión Shacman tolva 8x4
3	Camión Shacman tolva 6x4
3	Camión CAT alto tonelaje
2	Perforadora Junjin 1300
3	Cargador frontal
7	Torre de Iluminación
2	Generador
1	Bulldozer
1	Motoniveladora
1	Mini cargador
1	Camión Aljibe

Tabla 1.1 Listado de equipos CMCN.

Fuente: Elaboración propia.

El área de Mantenimiento se encarga de realizar el mantenimiento preventivo, correctivo y reparaciones mayores a estos equipos cuando lo requieren. Mediante una encuesta a expertos se han jerarquizado las tareas dentro del taller de acuerdo a lo crítico que es el equipo dentro de la operación. [PROTOCOLO300-01].

En la Figura 1.9 se muestran los equipos ordenados jerárquicamente de acuerdo a la prioridad de intervención.

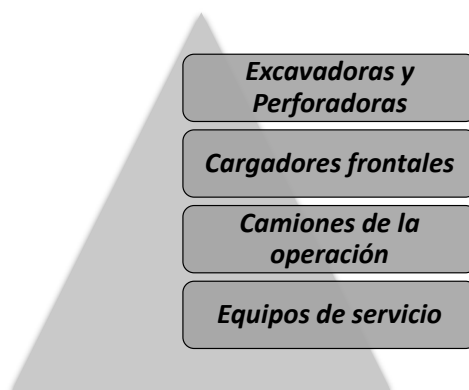


Figura 1.9 Jerarquización de equipos, intervención de acuerdo a lo crítico que son dentro de la operación.

Fuente: Elaboración propia.

El área de Mantenimiento de la CMNC, compuesta por personal de planta y por personal experto el cuál es solicitado esporádicamente cuando las reparaciones de equipo lo requieran, debe mantener en perfecto estado los equipos para realizar de manera óptima el proceso minero y asegurar el cumplimiento de la producción programada.

Las mantenciones realizadas a los equipos representan un alto costo para la Compañía. Éstos costos son planificados anualmente en el presupuesto de la empresa donde se contemplan las mantenciones preventivas planificadas, además de destinar recursos para las mantenciones correctivas o reparaciones mayores que puedan surgir como imprevisto.

Actualmente los costos de mantenimiento de la CMCN se distribuyen como se muestra en la Figura 1.10.

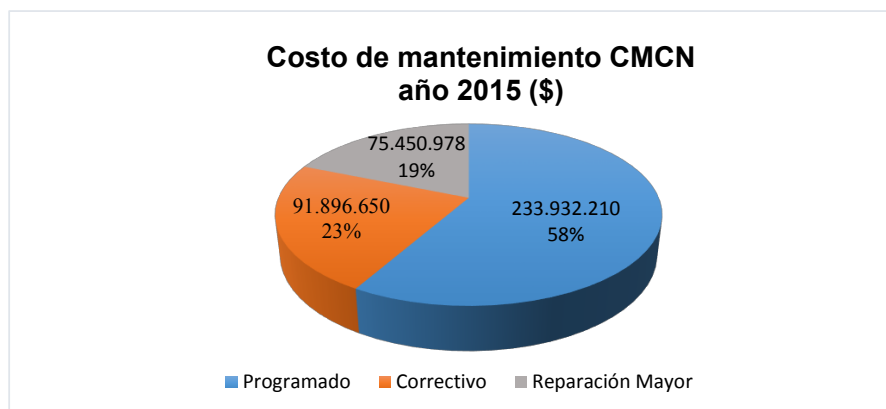


Figura 1.10 Distribución de costos de mantenimiento de equipos mineros de la CMCN, correspondiente al año 2015.

Fuente: Elaboración propia

Como se visualiza en la Figura 1.10, el costo por concepto de mantenciones correctivas y reparaciones mayores representa el 42% del total de las mantenciones realizadas en la CMCN, lo que se traduce en un alto costo para la empresa.

El aumento de las mantenciones correctivas y reparaciones mayores, indican que el proceso de mantenimiento preventivo es insuficiente, lo que genera un aumento en los costos de la CMCN destinados a estos procesos.

Elección de equipos

Para realizar una elección representativa de los equipos del RML, se realizó una selección en base a siete criterios donde se encuentra:

- Criticidad de los equipos en el proceso.
- Tiempo efectivo.
- Tiempo de mantenimiento.
- Número de fallas.
- Tiempo entre fallas.
- Disponibilidad de los equipos
- Costos asociados a mantención.

Para el análisis de estos criterios, es necesario definir la distribución de las horas cronológicas dentro de la faena, las cuales incluyen:

Horas hábiles (HH): son las horas en que los equipos están en actividad productiva, en tareas de mantenimiento preventiva, correctiva o pannes y las horas de reserva.

Horas inhábiles (HI): son las horas en que los equipos están fuera de actividad debido a las horas de colación y las horas producto del cambio de turno dentro de la faena.

Horas de operación (HO): son las horas en las que el equipo es entregado al operario en condiciones para que éste ejecute las tareas para las cuales fue diseñado. Dentro de este tiempo se encuentran las horas efectivas y las horas de pérdida operacional.

Horas efectivas (HE): son las horas en las que el equipo se encuentra realizando las tareas para las cuales fue diseñado.

Horas de pérdida operacional (HPO): son las horas en las que el equipo es entregado al operario en condiciones para que éste ejecute las tareas para las cuales fue diseñado, pero no puede realizarlas, por motivos ajenos al funcionamiento del equipo como traslados o espera de equipos complementarios.

Horas de reserva (HR): son las horas hábiles en que el equipo estando en condiciones de ejecutar las tareas para las cuales fue diseñado, no lo realiza debido a que falte el operador, a que el equipo no esté incluido en el programa de trabajo o a la falta de capacidad prevista de algún equipo complementario.

Horas de mantenimiento (HM): son las horas hábiles comprendidas desde que el equipo presenta una falla la cual no permite realizar las tareas para las cuales fue diseñado o desde que es entregado a mantenimiento para ser reparado o realizar mantenciones preventivas. Estas horas se dividen en horas de mantenimiento preventivo, horas de mantenimiento correctivo y horas de panne, las cuales corresponden al tiempo en que el equipo no puede realizar las tareas para las cuales fue diseñado debido a fallas sin estar siendo intervenido.

Todos estos tiempos quedan expresados en la Figura 1.11, la cual se aprecia a continuación.

Horas cronológicas							
Horas Hábiles						Horas Inhábiles	
Horas Operacionales		Horas de Mantenición					
Horas Efectivas	Horas Pérdida Op.	Horas Mant. Prev.	Horas Panne	Horas Mant. Corrc.	Horas de Reserva	Horas Cambio Turno	Horas Colación

Figura 1.11 Distribución de horas cronológicas

Fuente: Elaboración Propia

Criticidad de los equipos en el proceso

CMCN posee una lista de equipos críticos los cuales fueron seleccionados bajo el criterio de indisponibilidad, esto quiere decir que al no estar disponible alguno de estos equipos no es posible llevar a cabo la operación con normalidad, teniendo la empresa que solicitar el servicio de contratistas, ya que al detenerse la operación la Compañía deja de producir, provocándose un incumplimiento de contrato.

La elección de los equipos críticos ha sido realizada en base a la opinión de expertos; del jefe de operaciones del RML y jefe de mantención. A continuación, en la Tabla 1.2 se muestra el listado de equipos críticos.

Equipos
Excavadora Komatsu PC800
Excavadora Komatsu PC600
Excavadora Komatsu PC450
Excavadora Hitachi 450
Excavadora Cat 330
Perforadora Junjin 1300 N°1
Perforadora Junjin 1300 N°2

Tabla 1.2 Listado de equipos críticos de la CMCN.

Fuente: Elaboración propia.

Tiempo efectivo

El tiempo efectivo corresponde a las horas reales de operación de los equipos en la faena. A continuación, en la Tabla 1.3 se muestran las horas efectivas de los equipos críticos de la CMCN.

Tiempo efectivo	
Equipos	Horas
Excavadora Komatsu PC800	2.720
Excavadora Komatsu PC600	3.145
Excavadora Komatsu PC450	5.782
Excavadora Hitachi 450	620
Excavadora Cat 330	422
Perforadora Junjin 1300 N°1	986
Perforadora Junjin 1300 N°2	1.909

Tabla 1.3 Tiempo efectivo.
Fuente: Elaboración propia.

1.5.1.1 Tiempo de mantenimiento

De acuerdo al listado de equipos críticos se analizará la disponibilidad de las Excavadoras y Perforadoras, de acuerdo a la cantidad de horas de intervención, ya sea por mantenimiento preventivo, correctivo y reparaciones mayores. A continuación, en la Tabla 1.4 se muestra el resumen de datos obtenidos para el año 2015.

Mantenimiento			
Equipos	Preventivo (Hrs)	Correctivo, reparaciones mayores y panne (Hrs)	Total
Excavadora Komatsu PC600	84	2.532	2.616
Excavadora Komatsu PC800	96	2.388	2.484
Excavadora Komatsu PC450	60	102	162
Excavadora Hitachi 450	61	103	163
Excavadora Cat 330	59	160	219
Perforadora Junjin 1300 N°1	62	130	192
Perforadora Junjin 1300 N°2	33	9	42

Tabla 1.4 Horas de mantenimiento.
Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 1.4 podemos observar que los equipos que presentan mayor tiempo fuera de operación debido al mantenimiento preventivo y correctivo son: la excavadora Komatsu PC800, excavadora PC600, excavadora Cat 330 y perforadora Junjin 1300 N°1.

Cantidad de fallas en los equipos

Para este criterio se analizaron los datos en relación a la cantidad de fallas que presentan los equipos críticos de la CMCN dentro de la operación.

A continuación, la Tabla 1.5 muestra los datos obtenidos en relación a la cantidad de fallas de los equipos durante el año 2015.

Falla de equipos			
Equipos	Número de fallas	Frecuencia	Frecuencia acumulada
Excavadora Komatsu PC800	19	26%	26%
Excavadora Komatsu PC600	15	25%	51%
Excavadora Komatsu PC450	11	12%	63%
Excavadora Hitachi 450	9	12%	75%
Excavadora Cat 330	6	13%	88%
Perforadora Junjin 1300 N°1	8	9%	97%
Perforadora Junjin 1300 N°2	3	3%	100%

Tabla 1.5 Número de fallas por equipo.

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 1.5 se puede apreciar que los equipos que presentan un mayor número de fallas son la excavadora PC800, excavadora PC600, excavadora Hitachi 450 y perforadora Junjin 1300 N°1.

Tiempo entre fallas

De acuerdo al criterio anterior, de los tres equipos que presentan mayor cantidad de fallas, se analizará el tiempo medio entre fallas, determinando cuál o cuáles de estos equipos presenta un menor tiempo medio entre fallas.

La Tabla 1.6 muestra los datos obtenidos en relación al tiempo medio entre fallas durante el año 2015.

Tiempo entre fallas	
Equipos	Días
Excavadora Komatsu PC800	14
Excavadora Komatsu PC600	15
Excavadora Komatsu PC450	30
Excavadora Hitachi 450	30
Excavadora Cat 330	28
Perforadora Junjin 1300 N°1	33
Perforadora Junjin 1300 N°2	121

Tabla 1.6 Tiempo medio entre fallas.

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 1.6 se puede apreciar que los equipos que presentan un menor tiempo entre fallas son la excavadora Komatsu PC800, excavadora PC600 y la perforadora Junjin 1300N°1.

Disponibilidad

Para el presente Trabajo de Título el índice de disponibilidad se define como:

Ecuación 1.1 Índice de disponibilidad

$$ID = \frac{HO + HR}{HH}$$

Fuente: [ALBERTO12].

ID: Índice disponibilidad

HO: Horas operacionales

HR: Horas de reserva

HH: Horas hábiles

A continuación, la Tabla 1.7 muestra el porcentaje de disponibilidad de los equipos críticos de la CMCN.

Disponibilidad	
Equipos	%
Excavadora Komatsu PC800	65
Excavadora Komatsu PC600	66
Excavadora Komatsu PC450	98
Excavadora Hitachi 450	96
Excavadora Cat 330	96
Perforadora Junjin 1300 N°1	97
Perforadora Junjin 1300 N°2	99

Tabla 1.7 Disponibilidad de equipos críticos CMCN.

Fuente: Elaboración propia.

Costos asociados a mantención

En la Tabla 1.8 se aprecian los costos asociados a las mantenciones preventivas, correctivas y reparaciones mayores de los equipos críticos de la CMCN durante el año 2015.

Costos de mantenimiento			
Equipos	Preventivo (\$)	Correctivo (\$)	Reparación mayor (\$)
Excavadora Komatsu PC800	16.379.496	11.899.188	14.127.750
Excavadora Komatsu PC600	14.918.904	10.374.840	0
Excavadora Komatsu PC450	12.548.340	9.766.260	0
Excavadora Hitachi 450	1.309.770	0	1.600.000
Excavadora Cat 330	815.364	0	6.080.000
Perforadora Junjin 1300 N°1	686.400	456.300	3.412.500
Perforadora Junjin 1300 N°2	918.720	589.680	0

Tabla 1.8 Costos asociados a mantención.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de analizar los criterios utilizados para la selección final de equipos y mediante una encuesta a expertos (la cual se encuentra en el Anexo 1.3), se identificaron los criterios más relevantes para la elección de los equipos con los cuales se desarrollará el presente Trabajo de Título, éstos son:

- Criticidad del equipo en el proceso.
- Tiempo efectivo.
- Disponibilidad.

- Horas de mantenimiento.
- Costos asociados a la mantención.

A continuación, en la Tabla 1.9 se muestra el resumen de los criterios analizados.

Resumen de criterios				
Equipos	Tiempo efectivo (Hrs)	Disponibilidad (%)	Horas de mantenimiento	Costos de mantenimiento (\$)
Excavadora Komatsu PC800	2.164	65	2.616	42.406.434
Excavadora Komatsu PC600	1.610	66	2.484	25.293.744
Excavadora Komatsu PC450	5.782	98	162	22.314.600
Excavadora Hitachi 450	620	96	163	2.909.770
Excavadora Cat 330	422	96	219	6.895.364
Perforadora Junjin 1300 N°1	986	97	192	4.555.200
Perforadora Junjin 1300 N°2	1.909	99	42	1.508.400

Tabla 1.9 Criterios más importantes.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados arrojados por la Tabla 1.9 se tomarán como objeto de estudio la excavadora Komatsu PC800 y la perforadora Junjin N°1.

En base a los criterios analizados, podemos concluir que los problemas de la CMCN se traducen en un mantenimiento preventivo ineficiente, lo que lleva a una baja disponibilidad de los equipos, alto número de horas en mantenimiento correctivo y reparaciones mayores de los equipos y como consecuencia de esto, un elevado costo de mantenimiento.

Excavadora Komatsu PC800

Es una máquina hidráulica utilizada por la CMCN durante el proceso minero para excavar y cargar mineral y estéril, producto de la tronadura del yacimiento.

La excavadora PC800 cuenta con tres partes principales; Unidad de propulsión la cual permite el desplazamiento hacia la zona de trabajo y sirve de soporte para la estructura superior. Luego está la Unidad giratoria la que incluye la cabina giratoria y todo el sistema de control y finalmente se encuentra la Estructura manipuladora la que está compuesta por la pluma, el brazo y el balde. El balde es el recipiente en el cual se deposita el material, posee dientes en el borde para facilitar el arranque de la carga.

El mantenimiento preventivo de éste equipo se realiza siguiendo los parámetros indicados por el fabricante de acuerdo a las horas de operación y a la experiencia del personal experto.

Las fallas recurrentes que presenta la excavadora Komatsu PC80 son:

- Fisura del balde.
- Desgaste de dientes.
- Daño en el fondo del balde.
- Falla del sistema hidráulico.
- Daño en la oruga.

En el Anexo 1.5 se encuentra la ficha técnica de la excavadora Komatsu PC800.

Perforadora Junjin 1300 N°1

Esta máquina es una perforadora rotopercutora de origen coreano, utilizada por la CMCN para perforar el yacimiento. El proceso comienza con el posicionamiento de la máquina en cada una de las marcas y perforando hasta llegar a piso, según lo indicado por el departamento de Ingeniería.

El funcionamiento de la perforadora Junjin 1300 N°1 se basa en el impacto de una pieza de acero (pistón) a la columna de barras, la que transmite la energía al fondo del barreno (herramienta utilizada para realizar agujeros o pozos), y luego por medio de un elemento final (broca o bit) se aplica a la roca.

La ventaja de éste equipo es que es utilizable en todo tipo de rocas, es versátil pues se adapta a diferentes trabajos y poseen gran movilidad.

El mantenimiento preventivo de éste equipo se realiza siguiendo los parámetros indicados por el fabricante de acuerdo a las horas de operación y a la experiencia del personal experto.

Las fallas recurrentes que presenta la perforadora Junjin son:

- Rotura de martillo.
- Colapso del colector de polvo
- Falla del sistema hidráulico.

- Excesivo calentamiento.
- Ruido extraño en motor hidráulico.
-

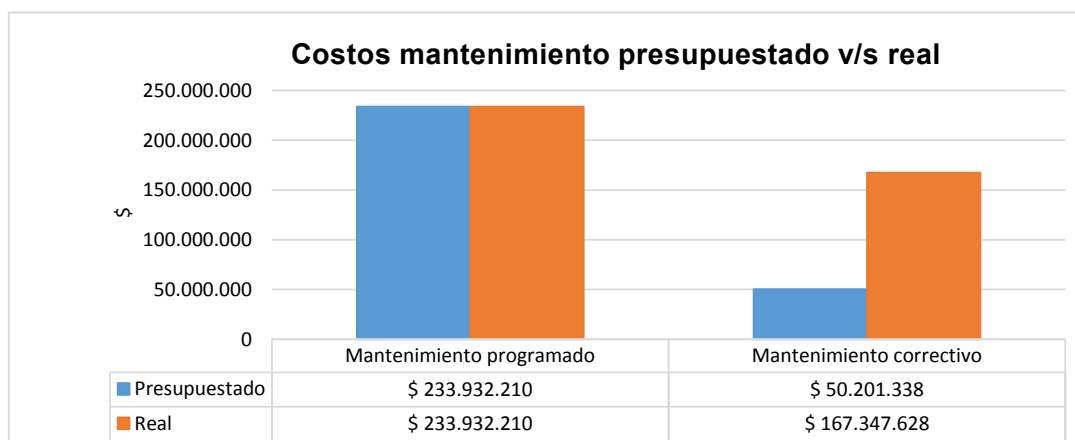
En el Anexo 1.6 se encuentra la ficha técnica de la perforadora Junjin 1300 N°1.

1.6 Descripción del problema

Como se analizó en el apartado anterior, en base a los siete criterios señalados, el principal problema detectado en la CMCN radica en el área de mantenimiento de equipos mineros, ya que los equipos no se mantienen operativos durante los tiempos estimados para el próximo mantenimiento preventivo, debiendo realizar un alto porcentaje de mantenimiento correctivo el cual equivale a un 42% del total de mantenciones realizadas. Dependiendo de la falla y el tiempo de reparación, a veces la empresa se ve obligada a trabajar con equipos externos para poder continuar la operación.

El aumento en los costos de mantenimiento correctivo más los costos de mantenimiento preventivo generan un desequilibrio en el presupuesto de la empresa.

CMCN cuenta con un pequeño presupuesto para la mantención correctiva de sus equipos críticos, específicamente de excavadoras y perforadoras. Esto se aprecia en la Figura 1.12 la cual muestra el presupuesto de la empresa destinado al mantenimiento preventivo y correctivo para el año 2015 versus el costo del mantenimiento real.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.12 Costos de mantenimiento presupuestado v/s mantenimiento real.

En la Figura 1.12 se puede apreciar que el costo de las mantenciones correctivas supera ampliamente el presupuesto con el que cuenta la empresa, representado el 77% del total.

El aumento en el mantenimiento correctivo además de aumentar los costos de la empresa se traduce en la no disponibilidad de los equipos viéndose interrumpido el proceso productivo de la CMCN.

A continuación, se define el concepto de disponibilidad.

Disponibilidad corresponde a la capacidad de un activo o componente para estar en un estado para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado. [JIMÉNEZ07].

Disponibilidad es el porcentaje de tiempo que un sistema es capaz de realizar las funciones para las que está diseñado. [BERNALES02].

Disponibilidad "...es la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente." [MESA&ORTIZ&PINZÓN02].

Para el presente Trabajo de Título y según los autores mencionados anteriormente, disponibilidad se define como la probabilidad de que el equipo se encuentre en estado de funcionar en un tiempo determinado.

En base al planteamiento anterior, el problema se define de la siguiente forma:

"Altos costos en mantenciones correctivas producto de un inadecuado mantenimiento preventivo"

Mantenimiento inadecuado	
Equipos	Tiempo entre falla
Excavadoras	< a 28 días
Perforadoras	< a 60 días

En la Figura 1.13 se observa la brecha que existe entre el presupuesto para mantenciones correctivas y el costo real de dichas mantenciones durante los últimos años en la CMCN.

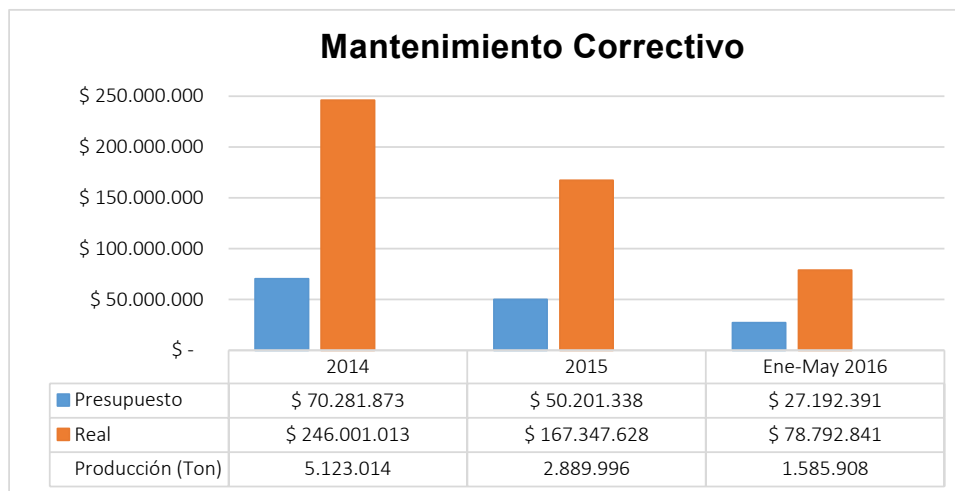


Figura 1.13 Costo real v/s costo presupuestado en mantenimiento correctivo.

Fuente: Elaboración propia.

Actualmente existe un inadecuado mantenimiento preventivo, lo que no asegura la disponibilidad de los equipos en los tiempos planificados, lo cual conlleva a un aumento en las mantenciones correctivas y un aumento en los costos asociados a ellas. El mantenimiento inadecuado para los equipos en estudio, es definido por el área de mantenimiento de la CMCN de acuerdo al tiempo entre fallas según protocolo300-01, el cual se detalla a continuación. [PROTOCOLO300-01].

- Para las Excavadoras en general, se considera como mantenimiento inadecuado cuando el equipo presenta un tiempo entre fallas inferior a 28 días promedio.
- En el caso de las Perforadoras, se considera como mantenimiento inadecuado cuando el equipo presenta un tiempo entre fallas inferior a 60 días en promedio.

Causas del problema

Para analizar las posibles causas que originan el problema, se utilizará el método Ishikawa o también conocido como Diagrama de causa-efecto. Este método es una representación gráfica de las causas que traen como consecuencia un efecto no deseado. El diagrama de causa-efecto se divide en dos componentes principales. El primero es el efecto y el segundo componente son las causas del problema agrupadas en 5 categorías conocidas como las 5M, las cuales son:

- Maquinaria.
- Mano de obra.
- Métodos.
- Medio ambiente.
- Materiales.

Para poder determinar las causas directas e indirectas que dan origen al problema se utilizó una herramienta de trabajo grupal llamada Brainstorming o lluvia de ideas, la cual fue posteriormente validada mediante una encuesta a expertos, la que se encuentra en el Anexo 1.4. La cual es una técnica grupal que facilita el surgimiento de nuevas ideas sobre un tema o problema determinado.

En este caso se utilizó la técnica para identificar las posibles causas que originan el problema, de esta actividad participó el jefe y supervisor de mantenimiento, jefe de turno, jefe de operaciones, tres mecánicos y operarios de los equipos en cuestión. Gracias a esto, se pudo encontrar las siguientes causas principales detalladas a continuación, en la Tabla 1.10.

5 M	Causas
Maquinaria	Maquinaria antigua
	Maquinaria defectuosa
	Herramientas antiguas para realizar la mantención
Método	Plan de mantenimiento ineficiente
	Excesivo uso de equipo por retraso de producción
	Falta de inspección adecuada de equipos
Mano de Obra	Mala manipulación de equipos
	Falta de comunicación
	Poca voluntad para realizar el trabajo
	Falta de capacitación
Materiales	Escasez de inventario de repuestos
	Repuestos originales costosos
	Repuestos alternativos de mala calidad
	Accesorios de equipo en mal estado
Medio ambiente	Irregularidades del terreno
	Grandes cambios de temperatura entre el día y la noche
	Cambios climáticos
	Gran concentración de polvo en el ambiente

Tabla 1.10 Causas de problema detectadas mediante la técnica Brainsorming.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 1.14 se encuentra la representación gráfica de las causas que generan el problema mediante el Diagrama causa-efecto.

Con las causas identificadas anteriormente, se realizó un Diagrama de Pareto, el cual es una herramienta de comparación cuantitativa y ordenada de las causas que contribuyen a un determinado problema. Este diagrama se basa en el principio enunciado por Vilfredo Pareto que dice: “El 80% de los problemas que se presentan, provienen de sólo un 20% de las causas”.

A continuación, en la Tabla 1.11 se encuentran jerarquizadas las causas identificadas anteriormente, con las cuales se realizó un Diagrama de Pareto. En la Figura 1.14 es posible apreciar una representación gráfica del diagrama con las causas principales asociadas al problema.

	Causas	Puntuación	Frecuencia (%)	Frecuencia Acumulada (%)
Causa 1	Mantenimiento ineficiente	10	10	10
Causa 2	Falta de inspección adecuada de equipos.	10	10	20
Causa 3	Ausencia de un plan de mantenimiento.	9	9	29
Causa 4	Repuestos alternativos de mala calidad.	9	9	38
Causa 5	Maquinaria antigua.	9	9	47
Causa 6	Excesivo uso de equipo por retraso de producción.	7	7	53
Causa 7	Herramientas antiguas para realizar la mantención.	7	7	60
Causa 8	Falta de capacitación.	6	6	66
Causa 9	Falta de comunicación.	6	6	72
Causa 10	Repuestos originales costosos.	5	5	77
Causa 11	Gran concentración de polvo en el ambiente.	4	4	81
Causa 12	Maquinaria defectuosa.	3	3	84
Causa 13	Mala manipulación de equipos.	3	3	87
Causa 14	Accesorios de equipo en mal estado.	3	3	90
Causa 15	Escasez de inventario de repuestos.	3	3	93
Causa 16	Irregularidades del terreno.	2	2	95
Causa 17	Poca voluntad para realizar el trabajo.	2	2	97
Causa 18	Grandes cambios de temperatura entre el día y la noche.	2	2	99
Causa 19	Cambios climáticos.	1	1	100

Tabla 1.11 Jerarquización de las causas del problema.

Fuente: Elaboración propia.

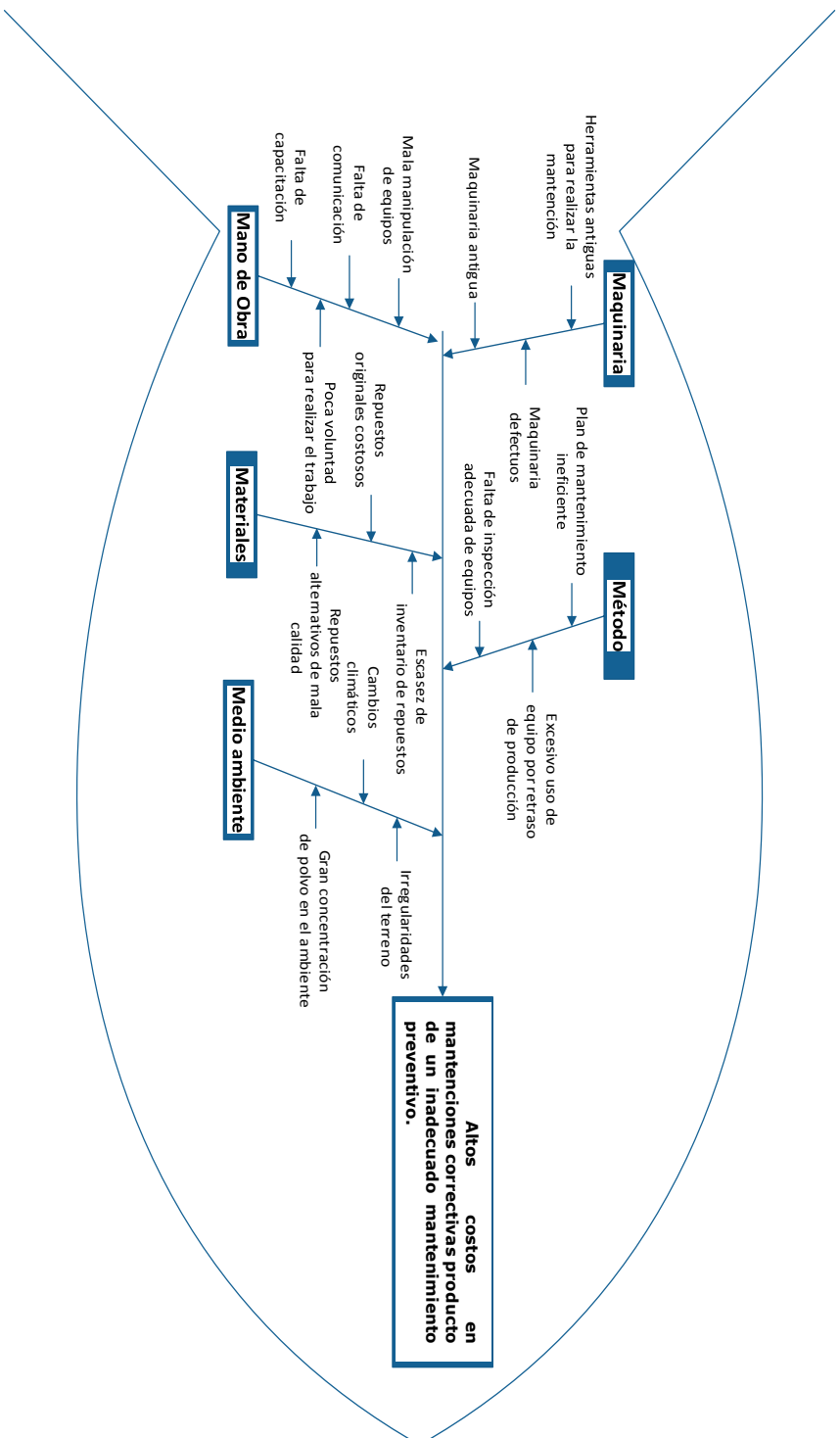


Figura 1. 14 Diagrama causa-efecto.
Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de Pareto

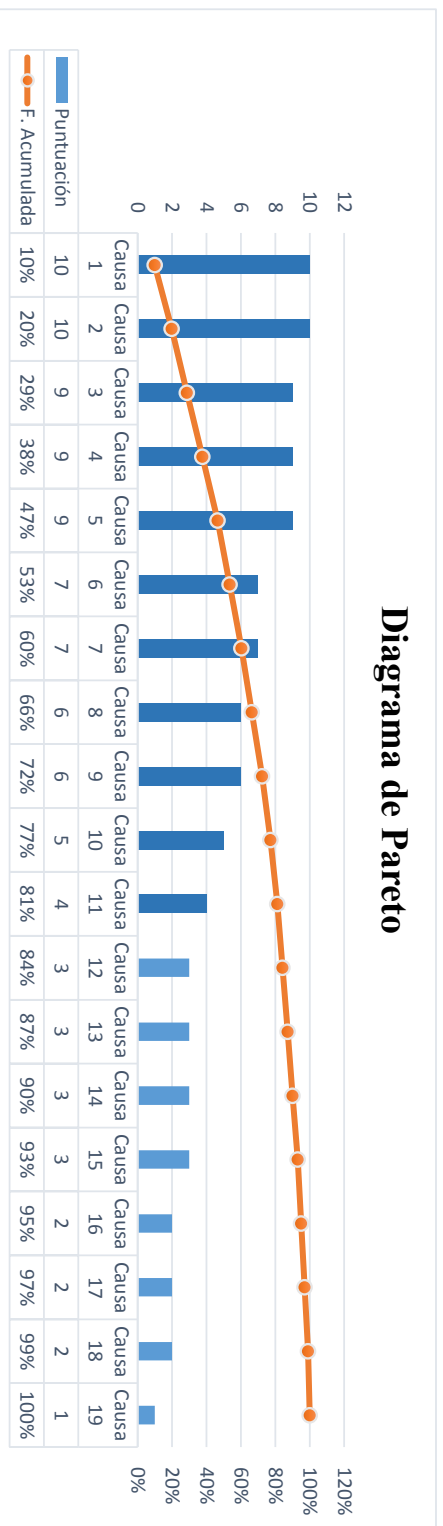


Figura 1.15 Diagrama de Pareto.

Fuente: Elaboración propia.

Causas	
Causa 1	Mantenimiento ineficiente
Causa 2	Falta de inspección adecuada de equipos
Causa 3	Ausencia de un plan de mantenimiento
Causa 4	Repuestos alternativos de mala calidad
Causa 5	Maquinaria antigua
Causa 6	Excesivo uso de equipo por retraso de producción
Causa 7	Herramientas antiguas para realizar la mantención
Causa 8	Falta de capacitación
Causa 9	Falta de comunicación
Causa 10	Repuestos originales costosos
Causa 11	Gran concentración de polvo en el ambiente
Causa 12	Maquinaria defectuosa
Causa 13	Mala manipulación de equipos
Causa 14	Accesorios de equipo en mal estado
Causa 15	Escasez de inventario de repuestos
Causa 16	Irregularidades del terreno
Causa 17	Poca voluntad para realizar el trabajo
Causa 18	Grandes cambios de temperatura entre el día y la noche
Causa 19	Cambios climáticos

A continuación, en la Tabla 1.12 se aprecian las causas más incidencia tienen sobre el problema.

Causas	
Causa 1	Mantenimiento ineficiente
Causa 2	Falta de inspección adecuada de equipos
Causa 3	Ausencia de un plan de mantenimiento
Causa 4	Repuestos alternativos de mala calidad
Causa 5	Maquinaria antigua
Causa 6	Excesivo uso de equipo por retraso de producción
Causa 7	Herramientas antiguas para realizar la mantención
Causa 8	Falta de capacitación
Causa 9	Falta de comunicación
Causa 10	Repuestos originales costosos
Causa 11	Gran concentración de polvo en el ambiente

Tabla 1.12 Causas más relevantes.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de realizar la encuesta e identificar las posibles causas que generan el problema y de construir el Diagrama Pareto, se han encontrado las causas que tienen mayor incidencia sobre el problema. Estas causas serán atacadas para dar solución al problema que afecta al área de mantenimiento de la CMCN.

Consecuencias del problema

Para la CMCN, las consecuencias más relevantes provocadas por la problemática que afecta al área de mantenimiento son:

- Elevados costos de mantenciones correctivas superando en un 54% el presupuesto con el que la empresa cuenta para ellas tal como se aprecia en la Figura 1.16.



Figura 1.16 Recursos asignados a mantenimiento correctivo.
Fuente Elaboración propia.

- El retraso de las tareas de mantenimiento preventivo cuando se presenta el averío de alguno de los equipos críticos.
- La contratación de equipos externos para cumplir con la producción mensual programada, como se aprecia en la Figura 1.17.

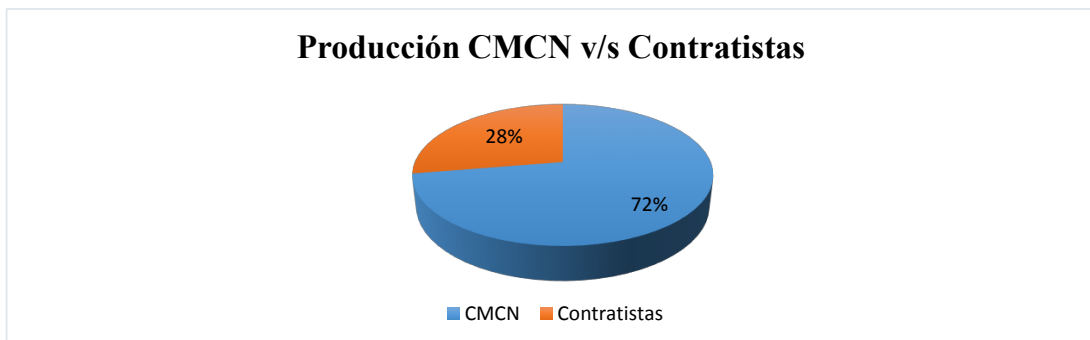


Figura 1.17 Producción anual CMCN v/s contratistas.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Figura 1.18 se muestra el diagrama de las causas y las consecuencias del problema.

Causas

- Plan de mantenimiento preventivo inadecuado.

Esto se refiere a que el plan de mantenimiento no asegura la disponibilidad de los equipos hasta el próximo mantenimiento preventivo planificado. Para el Área de Mantenimiento de la CMCN, para los equipos críticos en estudio el mantenimiento inadecuado se define de la siguiente manera:

Mantenimiento Inadecuado	
Equipos	Tiempo entre falla
Excavadoras	< a 28 días
Perforadoras	< a 60 días

- Mala manipulación de los equipos por el usuario de las maquinarias.
- Esto se produce ya que no existe una capacitación previa al personal para darles conocimientos y habilidades que se requiere para lograr un desempeño óptimo en la manipulación de los equipos, lo cual implica despropiedad en el uso y fallas en los equipos.

Los repuestos originales en algunos casos supera en 1,5 veces el valor de los repuestos alternativos. Algunos repuestos originales deben ser adquiridos en el extranjero.

- Mala calidad de repuestos.
- Fallas

Las fallas provocan un retraso en la producción de la CMCN, ya que disminuyen la disponibilidad de los equipos como es posible apreciar en la siguiente tabla.

Equipos	Disponibilidad	%
Excavadora Komatsu PC800		65
Excavadora Komatsu PC600		66
Excavadora Komatsu PC450		98
Excavadora Hitachi 450		96
Excavadora Cat 330		96
Perforadora Junjin 1300 N°1		97
Perforadora Junjin 1300 N°2		99

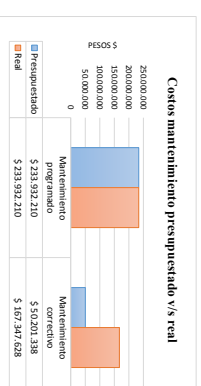
Problema

Altos costos en mantenciones correctivas producto de un mantenimiento preventivo inadecuado.

Consecuencias

- Altos costos en mantenimiento correctivo y reparaciones mayores.

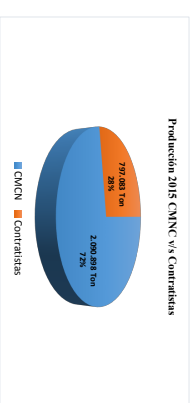
Debido a que el mantenimiento preventivo no es suficiente para que los equipos realicen las tareas para las cuales están diseñados hasta la próxima mantención preventiva planificada, CMCN destina una gran cantidad de recursos para mantenimiento correctivo y reparaciones mayores, representando superando en un 54% el presupuesto destinado a estas reparaciones.



- Retraso en las tareas de mantenimiento preventivo

Al fallar uno de los equipos críticos de la CMCN, es intervendo inmediatamente postergando las tareas programadas para los demás equipos, ya que estos equipos son prioridad dentro del taller.

- Contratación de equipos externos
- La no disponibilidad de los equipos involucrados en el proceso minero se traduce en el retraso de la producción. CMCN debe cumplir con los compromisos adquiridos, es por esto que al no estar disponibles sus equipos debe solicitar equipos contratistas para poder cumplir con la producción solicitada.



- Altos costos en mantenciones correctivas

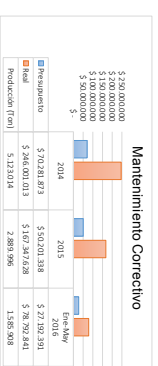


Figura 1.18 Diagrama causa-problema-consecuencia.

1.7 Metodologías aplicables para la solución del problema

En este apartado se presentan las distintas metodologías que podrían dar solución al problema que afecta al área de mantenimiento de la CMCN.

RCM II (Mantenimiento centrado en la confiabilidad)

El RCM II es una metodología que busca determinar las actividades de mantenimiento necesarias para que los activos fijos sigan realizando las funciones para las que fueron diseñados, considerando la seguridad de las personas y la integridad del medio ambiente. El RCM fue originalmente definido por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en su libro "Reliability Centered Maintenance" / "Mantenimiento centrado en la confiabilidad", el libro que dio nombre al proceso [PÉREZ03].

El objetivo fundamental de la implantación de un plan de Mantenimiento Centrado en la confiabilidad, es aumentar la fiabilidad de los equipos, es decir, disminuir el tiempo de paradas por averías imprevistas que impidan cumplir con los planes de producción. Los objetivos secundarios, pero igualmente importantes son aumentar la disponibilidad, es decir, la proporción del tiempo que el equipo está a disposición para producir, y disminuir al mismo tiempo los costes de mantenimiento correctivo. [MOURBRAY04].

El desarrollo del RCM II debe responder las siguientes 7 preguntas que la metodología plantea:

- ¿Cuáles son las funciones?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Qué causa que falle?
- ¿Qué sucede cuando falla?
- ¿Qué ocurre si falla?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas?

Ventajas	Desventajas
Aumenta la vida útil de los activos.	Requiere alto compromiso de los trabajadores.
Mejora la eficiencia del proceso.	Difícil de adoptar para empresas que no poseen un registro ordenado de información.
Mejora la seguridad de los trabajadores y la integridad del medio ambiente.	
Disminuye costos derivados de mantenimiento correctivo.	

Tabla 1. 13 Ventajas y desventajas de RCM II.

Fuente: Elaboración propia.

TPM (Mantenimiento productivo total)

El TPM es una filosofía de mantenimiento, está dirigido a la maximización de la efectividad del equipo durante toda su vida útil. De esta forma busca eliminar las pérdidas de producción debido a las paradas no programadas o avería de los equipos.

El Mantenimiento Productivo Total permite la continuidad de la operación, en equipos y plantas al introducir: Prevención, cero defectos ocasionados por equipos, cero accidentes, cero defectos, participación total de las personas.

Esta metodología involucra a cada persona en todos los departamentos y a todos los niveles; motiva a las personas para el mantenimiento de la planta a través de actividades autónomas y de grupos pequeños, y comprende elementos básicos tales como desarrollo de un sistema de mantenimiento, educación en mantenimiento básico de la empresa, habilidades para la solución de problemas y actividades para lograr alcanzar metas como cero averías y cero defectos, lo que implica productividad y rentabilidad. [IUNT09].

Ventajas	Desventajas
Aumenta la vida útil de los activos.	Requiere un cambio cultural dentro de la organización.
Mejora la productividad al aumentar la disponibilidad de los equipos.	Reeducar a los trabajadores implica elevados costos.
Involucra a todos los trabajadores.	Los beneficios son a largo plazo, ya que su implementación requiere largo tiempo
Involucra el concepto de mejora continua.	

Tabla 1.14 Ventajas y desventajas de TPM.

Fuente: Elaboración propia.

AMFEC (Análisis de modos, Efectos de Fallas y Criticidad)

Es un método que permite identificar problemas potenciales y sus posibles efectos dentro de un sistema. Tiene como objetivo identificar los modos de fallas que representan un mayor riesgo, para luego seleccionar ya sea preventiva, predictiva, correctiva o en su caso acciones adicionales o complementarias. Se define un modo de falla, como la forma en que un activo pierde su habilidad para desempeñar su función, entrando en el estado de falla, falla funcional.

Esta metodología pretende cambiar la forma en que se plantea el mantenimiento, mejores planes darán mejores programas y por lo tanto mejor mantenimiento, lo que se espera redunde en un mejor rendimiento de los activos y mayor seguridad. Permitiendo así identificar los modos de falla que representan un mayor riesgo para la instalación, considerando los riesgos a la producción, instalación y al personal. [Aguilar10].

Ventajas	Desventajas
Mejora la fiabilidad del sistema.	Variación en las condiciones del medio y los inputs del sistema.
Identifica los modos de falla que representan un mayor riesgo para la instalación.	Considera fallas individuales, no combinados o en cadena.
Prioriza medidas correctivas en base a los riesgos que se pueden provocar.	No se ajusta a sistemas complejos.
Reduce la posibilidad del mismo tipo de fallo en el futuro.	

Tabla 1.15 Ventajas y desventajas de AMFEC

Fuente: Elaboración propia.

Criterios de decisión	Valoración de 1 a 5	Ponderado	FMCA	TPM	RCM 2
Identifica las fallas	5	0,20	0,20	0,20	0,20
Mejora la disponibilidad de los equipos	5	0,20	0	0,20	0,20
Reduce costos de mantenimiento	5	0,20	0,20	0,20	0,20
Reduce mantenimiento innecesario	3	0,12	0	0,12	0,12
Identifica falencias en el mantenimiento preventivo	4	0,16	0,16	0,16	0,16
Se adecua fácil a la organización	3	0,12	0,12	0	0,12
Puntaje Total	25	1,00	0,76	0,88	1,00
% Total ponderado		100%	76%	88%	100%

Tabla 1.16 Matriz de decisión.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de analizar la ponderación de las metodologías estudiadas, observadas en la Tabla 1.16, se ha seleccionado el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM II para abordar la problemática presente en el área de mantenimiento del Proceso Minero de la Compañía Minera Cerro Negro, ya que cumple con los criterios evaluados en la matriz de decisión, los cuales dan solución al problema.

Metodología aplicada por otras empresas para dar solución al problema

De acuerdo al resultado de la matriz de decisión, la metodología RCM II es la que mejor se ajusta para dar solución a la problemática presente en el área de mantenimiento de la CMCN.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por otras empresas tras la implementación de la metodología RCM II.

- Empresa de productos lácteos logró reducir en un 50% los costos de mantenimiento correctivo y mejoró el rendimiento de sus equipos en un 50%.
- Empresa minera incrementó la disponibilidad de sus equipos en un 10%.
- Empresa de transmisión y distribución de energía logró disminuir en un 35% las órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo.
- Caso de estudio: Implementación de RCM II para el área de servicios industriales de la Cervecería Bavaria S.A de Boyacá.

Como caso práctico de aplicación de la metodología propuesta se presentan los resultados logrados en la implementación de un “Sistema Integral de Confiabilidad Operacional para el área de servicios industriales de la Cervecería Bavaria S. A. de Boyacá (Colombia)”.

Cervecería Bavaria S. A. de Boyacá es la mayor compañía de bebidas en Colombia. Son conocidos por su aplicación agresiva de instrumentos de mejora de negocio para aumentar la eficiencia, confiabilidad, capacidad de ganancia y satisfacción del cliente.

Este caso práctico de aplicación de metodología además de un plan general de Gestión Integral de Mantenimiento, se aplicaron las herramientas de la Ingeniería de Confiabilidad, como el Análisis de Criticidad, el FMEA y el RCA para desarrollar un sistema que permitió evaluar el comportamiento de los equipos, determinar su operatividad y establecer los compromisos de mantenimiento e inspección necesarios para garantizar la Integridad Mecánica de las instalaciones.

El resultado y éxito del sistema se cuantificó en términos de la reducción en los riesgos generales de la planta, disminución de las tasas de falla de los equipos y el control de los mecanismos de deterioro identificados, al mismo tiempo que se estabilizaron los costos de operación y se logró una reducción considerable en los costos totales del mantenimiento [GARCÍA10].

De los casos de estudio es posible concluir que con la implementación del método RCM II se obtienen como resultado el aumento en la disponibilidad de los equipos y disminución los costos asociados al mantenimiento. Todo esto como consecuencia del plan de mantenimiento que entrega como herramientas una hoja de información, la cual contiene análisis de modos de fallo y efectos del sistema; una hoja de decisión y una hoja de distribución de tareas el cual, es un documento informativo que muestra la periodicidad de las tareas y acciones de mantenimiento a realizar.

1.8 Objetivos y resultado esperado

A continuación, se presentan los objetivos y el resultado esperado del presente Trabajo de Título.

Objetivo general

Proponer un plan de mantenimiento para los equipos críticos del área de Perforación y Carguío, pertenecientes al proceso minero de la Compañía Minera Cerro Negro, para el año 2016, utilizando la metodología RCM II.

Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual de la empresa, analizar el proceso de mantención de equipos mineros de la CMCN y su funcionamiento.
- Identificar los equipos críticos involucrados en el proceso minero para delimitar el objeto de estudio, mediante el uso de criterios o dimensiones.
- Proponer un plan de mantenimiento para los equipos críticos seleccionados a través de la metodología RCM II.
- Realizar una comparación de la situación actual con la propuesta por el plan de mantenimiento a desarrollar, mediante una comparación de costos.

En base a los objetivos específicos planteados, se han determinado una serie de pasos y metodologías aplicadas para el desarrollo del presente Trabajo de Título, las cuales se detallan a continuación, en la Tabla 1.18.

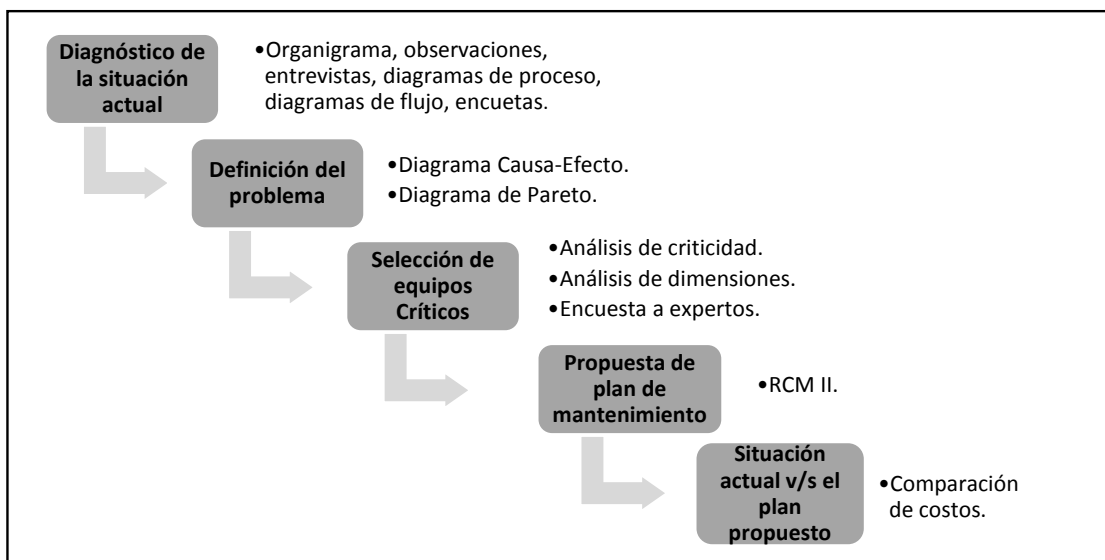


Figura 1.19 Resumen de metodologías aplicables al Trabajo de Título.

Fuente: Elaboración propia.

Resultado esperado

Del presente Trabajo de Título se espera entregar una propuesta de plan de mantenimiento, desarrollado mediante la metodología RCM II para la excavadora Komatsu PC800 y la perforadora Junjin N°1, ambos equipos críticos del Proceso Minero de la CMCN.

Dicho plan dará respuesta a la problemática que aqueja a los equipos críticos antes mencionados, aumentando su disponibilidad, disminuyendo costos asociados al mantenimiento correctivo y reparaciones mayores, para así mejorar su confiabilidad en el proceso y aumentar la vida útil.

1.9 Limitaciones

El presente trabajo de título abarca sólo el área de Proceso Minero llevado a cabo por la CMCN, específicamente, a los equipos críticos seleccionados en base a los criterios de decisión explicados en el apartado 1.5 de éste capítulo, pertenecientes a los procesos de Perforación y Carguío de material, excluyéndose los demás procesos llevados a cabo por la Compañía, ya que esta área representa un mayor costo para la empresa.

Como resultado de este trabajo se espera generar una propuesta de plan de mantenimiento para los equipos críticos seleccionados, basado en la metodología RCM II, el cual no incluye la implementación del método ni su simulación, debido a las limitaciones de tiempo y políticas de la empresa, siendo ésta propuesta un apoyo a la gestión actual de mantenimiento llevado a cabo por la CMCN.

En caso de que la aplicación de RCM II arroje “rediseño” como medida de solución en los modos de falla, no se llevará a cabo el análisis de investigación e implementación del proyecto, puesto que no son parte de nuestro trabajo.

2. Metodología

A continuación, se presenta en detalle la metodología RCM II, la cual da solución al problema expuesto en el capítulo anterior, permitiendo así dar respuesta a los objetivos planteados. Además, se definen conceptos y herramientas fundamentales para su aplicación.

Esta metodología ha sido seleccionada en base a un análisis y comparación con metodologías similares, evaluando diversos criterios de decisión que inciden directamente al problema presente en la Compañía.

2.1 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM II

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad o RCM II por sus siglas en inglés, se define como “Proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan en su contexto operacional actual”. [MOUBRAY04].

El RCM II, fue desarrollado durante los años 60 y 70, donde la industria aeronáutica es en la cual se concreta la metodología, la cual consiste en analizar cada uno de los sistemas y como sus funciones pueden fallar considerando el entorno. Los efectos de estas fallas son a su vez clasificados y valorados en relación al impacto para así elegir tareas apropiadas. [MOUBRAY04].

Esta metodología permite desarrollar un plan de mantenimiento mediante el análisis de fallas de un sistema, determinando de qué manera puede fallar funcionalmente, identificando las consecuencias que generan estas fallas y con la creación de medidas que puedan evitar la ocurrencia de dichas fallas. Una vez seleccionado el sistema a evaluar, se debe dividir sus componentes, para así asegurar un buen análisis de cada uno de éstos.

El objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM II en una planta industrial es aumentar la disponibilidad y disminuir costes de mantenimiento de los activos fijos.

Para identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, el RCM II propone un procedimiento de análisis que consta de 7 preguntas [MOUBRAY04].

2.2 RCM II: 7 preguntas básicas

El proceso de RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

A continuación, serán explicados en detalle los siete pasos para aplicación de la metodología RCM II:

Funciones y parámetros de funcionamiento

¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?

Antes de poder aplicar un proceso para determinar qué debe hacerse para que cualquier activo físico continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional, se debe determinar:

- Que es lo que sus usuarios quieren que haga.
- Asegurar que el activo es capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga.

Es por esto que el primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados. Lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer puede ser dividido en dos categorías:

- **Funciones primarias:** Razón principal de la adquisición del activo. Esta categoría de funciones, cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente.
- **Funciones secundarias:** Es lo que se espera de cada activo, más allá de cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, proyección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales, y hasta la apariencia del activo.

Los usuarios de los activos generalmente están en la mejor posición por lejos para saber exactamente qué contribuciones físicas y financieras hace el activo para el bienestar de la organización como un todo. Por ello es esencial que estén involucrados en el proceso de RCM desde el comienzo. [MOUBRAY04].

Fallas funcionales

¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

El único hecho que puede hacer que un activo no pueda desempeñarse conforme a los parámetros requeridos por sus usuarios es alguna clase de falla.

Se define falla como la “incapacidad de cualquier activo físico de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga”.

Una falla funcional se define como “la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario”.

Antes de aplicar una combinación adecuada de herramientas para el manejo de una falla, es necesario identificar qué fallas pueden ocurrir. El proceso RCM lo hace en dos niveles:

- En primer lugar, identifica las circunstancias que llevaron a la falla.
- Luego se pregunta qué eventos pueden causar que el activo falle.

Esta definición no solo se refiere a la incapacidad total de funcionar, sino que también abarca fallas parciales en las que el activo todavía funciona, pero con un nivel de desempeño inaceptable (incluyendo las situaciones en las que el activo no puede mantener los niveles de calidad o precisión). Evidentemente éstas sólo pueden ser

identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo. [MOUBRAY04].

Modos de falla

¿Cuál es la causa de cada falla funcional?

Una vez que se ha identificada cada falla funcional, el próximo paso es identificar los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla. Estos hechos se denominan modos de falla.

Los modos de falla “razonablemente posibles” incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existentes, así como fallas que aún no han ocurrido, pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.

La mayoría de las listas tradicionales de modos de falla incorporan fallas causadas por el deterioro o desgaste por uso normal. Sin embargo, para que todas las causas probables de falla en los equipos puedan ser identificadas y resueltas adecuadamente, esta lista debería incluir fallas causadas por errores humanos (por parte de los operadores y el personal de mantenimiento), y errores de diseño. También es importante identificar la causa de cada falla con suficiente detalle para asegurarse de no desperdiciar tiempo y esfuerzo intentando tratar síntomas en lugar de causas reales. Por otro lado, es igualmente importante asegurarse de no malgastar el tiempo en el análisis mismo al concentrarse demasiado en los detalles. [MOUBRAY04].

Efectos de falla

¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?

El cuarto paso en el proceso de RCM tiene que ver con hacer un listado de los efectos de falla, que describen lo que ocurre con cada modo de falla. Esta descripción debería incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla, tal como: [MOUBRAY04].

- Qué evidencia existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido.
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si la representa).

- De qué manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta).
- Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla.

Un efecto de falla no es lo mismo que una consecuencia. Un efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, mientras que una consecuencia de falla responde a la pregunta ¿Qué importancia tiene?

Consecuencias de falla

¿En qué sentido es importante cada falla?

La naturaleza y gravedad de los efectos de falla definen las consecuencias. Si una falla tiene consecuencias serias, se centrará la atención en esa falla para intentar evitarla. Por otro lado, si no tiene consecuencias o las consecuencias son leves, quizás sea mejor no hacer un mantenimiento exhaustivo.

La metodología RCM II reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus características técnicas. De hecho, reconoce que la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar las fallas per se sino evitar o reducir las consecuencias de las fallas.

Dichas consecuencias son clasificadas en cuatro grupos, de la siguiente manera: [MOUBRAY04].

- **Consecuencias de fallas ocultas:** Estas fallas ocultas no tienen un impacto directo, aunque pueden traer consigo fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas. (la mayoría están asociadas a sistemas de protección sin seguridad inherente).
- **Consecuencias ambientales y para la seguridad:** Una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause daño o la muerte a alguna persona. Tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional o internacional.
- **Consecuencias operacionales:** Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente, o costos operacionales además del costo directo de la reparación).

- **Consecuencias no-operacionales:** Las fallas que caen en esta categoría no afectan a la seguridad ni la producción, sólo implican el costo directo de la reparación.

El proceso de evaluación de las consecuencias también cambia el énfasis de la idea de que toda falla es negativa y debe ser prevenida. De esta manera focaliza la atención sobre las actividades de mantenimiento que tienen el mayor efecto sobre el desempeño de la organización, y resta importancia a aquellas que tienen escaso resultado. También nos alienta a pensar de una manera más amplia acerca de diferentes maneras de manejar las fallas, más que concentrarnos en prevenir fallas.

Las técnicas de manejo de fallas se dividen en dos categorías. [MOUBRAY04].

- **Tareas proactivas.**
- **Acciones a falta de.**

Tareas proactivas

¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?

Las tareas proactivas se emprenden antes de que ocurra una falla, para prevenir que el componente llegue a un estado de falla. Son técnicamente factibles si permiten reducir las consecuencias del modo de falla asociado, a un nivel que sea aceptable al usuario del activo. Abarcan lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento “predictivo” o “preventivo”, aunque RCM utiliza los términos reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y mantenimiento a condición.

Cuando las consecuencias de fallas son importantes, algo debe hacerse para prevenir o predecir las fallas, o al menos para reducir las consecuencias. Esto nos lleva nuevamente a la cuestión de las tareas proactivas. RCM divide a las tareas proactivas en tres categorías: [MOUBRAY04].

- **Tareas de reacondicionamiento cíclicas:** Consisten en reacondicionar la capacidad de un elemento o componente antes de un límite de edad operacional específico, independiente de su condición en ese momento.
- **Tareas de sustitución cíclicas:** Consisten en sustituir un componente antes de un límite de edad definida, más allá de su condición en ese momento.

En conjunto las tareas de reacondicionamiento cíclicas y las de sustitución cíclicas son conocidas como mantenimiento preventivo. [MOUBRAY04].

- **Tareas a condición:** Son técnicas que permiten detectar advertencias o fallas potenciales que dan indicios de que una determinada falla esta por ocurrir. Las fallas potenciales se definen como “condiciones físicas identificables que indican que una falla funcional está por ocurrir o están en procesos de ocurrir”.

Estas técnicas permitir actuar evitando las posibles consecuencias que surgirían si se transformaran en fallas funcionales. Se llaman tareas a condición porque los componentes se dejan en servicio a condición de que continúen alcanzando los parámetros de funcionamiento deseados. Si son utilizadas correctamente, las tareas a condición son una muy buena manera de manejar las fallas, pero a la vez pueden ser una pérdida de tiempo costosa. RCM permite tomar decisiones en esta tarea con certeza particular. [MOUBRAY04].

Acciones a falta de

¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

De no encontrar una tarea proactiva que sea técnicamente factible, se debe tomar una “acción a falta de” adecuada para tratar directamente el estado de falla. Para esto el RCM II reconoce tres grandes categorías de “acciones a falta de”. [MOUBRAY04].

- **Búsqueda de fallas:** Las tareas de búsqueda de falla implican revisar periódicamente funciones ocultas para determinar si han fallado (mientras que las tareas basadas en la condición implican revisar si algo está por fallar).
- **Rediseño:** Implica hacer cambios de una sola vez a las capacidades iniciales de un sistema. Esto incluye modificaciones al equipo y también cubre los cambios de una sola vez a los procedimientos.
- **Ningún mantenimiento programado:** No se hace esfuerzo alguno en tratar de anticipar o prevenir los modos de falla y se deja que la falla simplemente ocurra, para luego repararla. Esta tarea a falta de también se conoce como mantenimiento “a rotura”.

Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, está determinado por las características técnicas de la tarea y de la falla que pretende prevenir. Si vale la pena

hacerlo o no depende de la manera en que maneja las consecuencias de la falla. De no hallarse una tarea proactiva que sea técnicamente factible y que valga la pena hacerse, entonces debe tomarse una acción “a falta de” adecuada. La esencia del proceso de selección de tareas es el siguiente: [MOUBRAY04].

- Para fallas ocultas, la tarea proactiva vale la pena si reduce significativamente el riesgo de falla múltiple asociado con la función a un nivel tolerablemente bajo. De no ser así, debe realizarse una tarea de búsqueda de falla, donde la acción “a falta de” puede arrojar rediseño.
- Si no puede encontrarse una tarea proactiva que reduzca el riesgo de una falla a niveles aceptablemente bajos, entonces el componente debe ser rediseñado o debe cambiarse el proceso.
- Si la falla tiene consecuencias operacionales, una tarea proactiva sólo vale la pena si el costo total de realizarla a lo largo de un cierto período de tiempo es menor al costo de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación en el mismo período de tiempo. En otras palabras, la tarea debe tener justificación en el terreno económico. Si no se justifica, la decisión “a falta de” inicial es no realizar mantenimiento programado. Si esto ocurre y las consecuencias operacionales siguen siendo inaceptables, entonces la decisión a falta de secundaria es nuevamente el rediseño.
- Si una falla tiene consecuencias no operacionales sólo vale la pena una tarea proactiva si el costo de la tarea a lo largo de un periodo de tiempo es menor al costo de reparación en el mismo tiempo. Entonces estas tareas también deben tener justificación en el terreno económico. Si esto no se justifica, la decisión a falta de inicial es otra vez ningún mantenimiento programado, y si los costos son demasiado elevados entonces la siguiente decisión a falta de secundaria es nuevamente el rediseño.

Este enfoque significa que las tareas proactivas son sólo definidas para las fallas que realmente lo necesitan, lo que a su vez lleva a reducciones sustanciales en cargas de trabajo de rutina. Un menor trabajo de rutina también significa que es más probable que las tareas restantes sean realizadas correctamente. Esto, sumado a la eliminación de tareas contraproducentes, lleva a un mantenimiento más efectivo. [MOUBRAY04].

2.3 Herramientas integradas para el desarrollo de la metodología RCM II

Para dar respuesta a las siete preguntas fundamentales que plantea la metodología, el RCM II hace uso de dos herramientas claves que facilitan su aplicación; las cuales son Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (AMFE) y Diagrama de Decisión. [AMÉNDOLA06].

Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (AMFE)

El AMFE permite identificar los efectos de los modos de falla asociados a los activos fijos en un determinado contexto operacional, para posteriormente clasificarlos según su importancia.

A partir de esta técnica, es posible dar respuesta a las preguntas uno, dos, tres y cuatro planteadas por la metodología RCM II. Los resultados obtenidos tras la aplicación del AMFE, son registrados en la hoja de información RCM II, la cual se muestra en la Tabla 2.1.

Hoja de información RCM II		Sistema:			
		Subsistema:			
Función		Falla Funcional	Modo de falla	Efecto de la falla	
1	A		1		
			2		
	B		1		
			2		
2	A		1		
			2		
	B		1		
			2		

Tabla 2.1 Hoja de Información RCM II.

Fuente: [MOURBRAY04].

2.4 Diagrama de decisión

Esta herramienta permite seleccionar las actividades de mantenimiento según la filosofía del RCM II. Integra todos los procesos de decisión en una estructura estratégica que se aplica a cada uno de los modos de falla listados en la hoja de información RCM II. Se utiliza para dar respuesta a las preguntas cinco, seis y siete del proceso. En la Figura 2.2 se muestra el Diagrama de decisión.

Los resultados obtenidos luego de la aplicación del árbol lógico de decisión, se registran en la Hoja de Decisión RCM II como se muestra en la Tabla 2.2.

La Hoja de Decisión RCM II permite asentar las respuestas a las preguntas formuladas en el Diagrama de Decisión RCM II y, en función de dichas respuestas, registrar: [MOUBRAY04].

- Qué mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia será realizado y quien lo hará.
- Qué fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño.
- Casos en los que se toma la decisión deliberada de dejar que las fallas ocurran.

Hoja de Decisión RCM II							Sistema					Sistema N°:	Facilitador:		
							Subsistema					Subsistema N°:	Auditor:		
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4				

Tabla 2.2 Hoja de Decisión RCM II

Fuente: [MOUBRAY04]

La nomenclatura de la tabla 2.2 es la siguiente:

F: Función principal.	H1,S1,N1,O1: Factibilidad de realizar tareas a condición.
FF: Falla funcional.	H2,S2,N2,O2: Factibilidad de realizar tareas de reacondicionamiento cíclico.
FM: Modo de falla.	H3,S3,N3,O3: Factibilidad de realizar tareas de situación cíclica.
H: Consecuencia de falla oculta.	H4: Factibilidad de realizar búsqueda de fallas.
S: Consecuencia en la seguridad.	H5: Factibilidad de daño al medio ambiente o a la seguridad de las personas.
E: Consecuencia ambiental.	O: Consecuencia operacional.

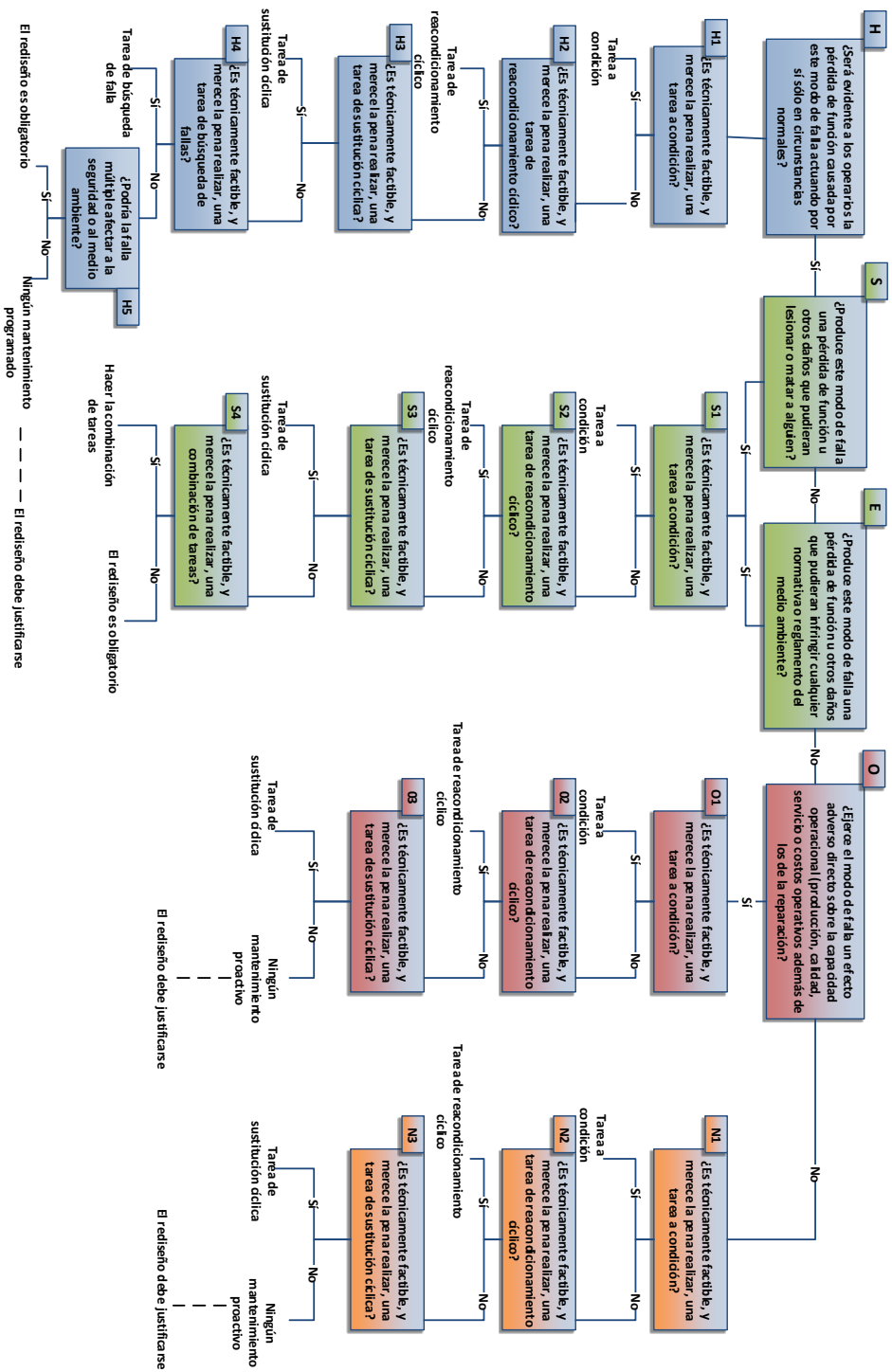


Figura 2. 1 Diagrama de Decisión.
Fuente: [MOUBRAY04]

2.5 Herramientas clave para la aplicación de la metodología RCM II

Para realizar la aplicación de la metodología RCM II es necesario definir conceptos fundamentales como: tipos de mantenimiento, confiabilidad operacional e indicadores de gestión del mantenimiento. Los cuales son descritos a continuación.

2.5.1 Tipos de mantenimiento

A continuación, se definirán los tipos de mantenimiento según el autor José María Nava.

Mantenimiento Rutinario

Es un mantenimiento ejecutado por periodos de tiempo continuos por los encargados de realizar esta actividad dentro de una organización. Su objetivo es mantener y alargar la vida útil de los sistemas productivos, para ello se realizan tareas programadas con la finalidad de evitar su desgaste, como, por ejemplo: limpieza, ajuste, lubricación, calibración, entre otros.

Mantenimiento Programado

Para ejecutar este tipo de mantenimiento, se toma como base las instrucciones técnicas recomendadas por los fabricantes y diseñadores de equipos y sistemas, con la finalidad de llevar un control en los ciclos de revisión y/o sustituciones de los elementos más importantes.

Mantenimiento Correctivo

Comprende un conjunto de actividades de todo tipo con el objetivo de eliminar la necesidad de mantenimiento, corrigiendo las fallas de una manera integral a mediano plazo. La forma de atacar las fallas está programada y planificada en el tiempo, de manera tal que no se produzcan paradas injustificadas.

Mantenimiento Preventivo

Surge de la necesidad de disminuir los mantenimientos correctivos y todo lo que representa. Pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados.

2.5.2 Confiabilidad operacional

Confiabilidad operacional se define como “la probabilidad de que un equipo, sistema o componente, cumpla satisfactoriamente con la función para la que fue diseñado, durante un período determinado de tiempo y en condiciones específicas de operación” [MOUBRAY04].

La confiabilidad operacional depende de cuatro parámetros: confiabilidad humana, confiabilidad de procesos, mantenibilidad de los equipos y confiabilidad de los equipos.

La variación en conjunto o individual de cualquiera de los cuatro parámetros presentados en la Figura 2.2 afectará el comportamiento global de la confiabilidad operacional de un determinado sistema.



Figura 2.2 Aspectos de la confiabilidad operacional.
Fuente: [AMÉNDOLA06].

La teoría de la confiabilidad se ocupa principalmente de las fallas de los sistemas y de la frecuencia con la que ocurren, sin profundizar en los fenómenos que las causan.

2.5.3 Indicadores de gestión de mantenimiento

Para determinar el comportamiento de los equipos en estudio y su posterior análisis, a continuación, se presentan los indicadores de gestión de mantenimiento utilizados en el presente Trabajo de Título.

2.5.3.1 Tiempo medio entre fallas (MTBF)

El tiempo medio entre fallas o MTBF (Mean Time Between Failures) es el tiempo transcurrido entre fallas sucesivas de un producto reparable. [ACUÑA03].

El MTBF es el principal indicador de confiabilidad, mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o sistema.

Este indicador se define como la razón entre el tiempo total de operación del componente o sistema expresado en horas y el número de fallas ocurridas durante ese transcurso de tiempo. Quedando expresado de la siguiente forma:

Ecuación 2.1 Tiempo medio entre fallas

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total de operación}}{\textit{Número de fallas}}$$

2.5.3.2 Tiempo medio de reparación (MTTR)

El tiempo medio de reparación o MTTR (Mean Time To Repair), es el tiempo que se espera que un sistema tarde en recuperarse ante una falla. Este tiempo incluye el tiempo necesario para diagnosticar la situación del componente o sistema, la solicitud de un especialista, el tiempo en que tarde en llegar un repuesto y el tiempo de intervención, hasta que el componente se encuentre en condiciones de operar.

El MTTR se expresa en horas y se asocia a con la disponibilidad, ya que mientras más tiempo tarde en recuperarse ante una falla, menor será la disponibilidad del componente o sistema.

Ecuación 2.2 Tiempo medio de reparación

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de parada}}{\textit{Número de fallas}}$$

2.5.3.3 Disponibilidad

Disponibilidad es el porcentaje de tiempo que un sistema es capaz de realizar las funciones para las que está diseñado. [ALBERTO12].

Este parámetro está dado por la confiabilidad y la mantenibilidad del componente o sistema, por lo que se define a través del MTBF y MTTR.

Ecuación 2.3 Disponibilidad

$$ID = \frac{HO + HR}{HH}$$

Fuente: [ALBERTO12].

2.6 Diagrama de Flujo: Aplicación de la metodología RCM II

A continuación, en la Figura 2.3, se muestra el diagrama de flujo de la aplicación de la metodología RCM II, el cual da los lineamientos para resolver la problemática detectada en la CMCN, expuesta en el Capítulo 1.

Para el desarrollo de la metodología se deben tener las entradas y las salidas del sistema, las cuales son expuestas a continuación.

Información de entrada del RCM II

La aplicación de RCM II depende de un meticuloso planeamiento y preparación. Los elementos centrales del proceso de planeamientos son [MOUBRAY04]:

- Decidir cuáles activos físicos se beneficiarán más con el proceso RCM II y exactamente de qué manera lo harán.
- Evaluar los recursos requeridos para la aplicación del proceso a los activos seleccionados, entre ellos está:
 - Historial de fallas.
 - Manuales de operación.
 - Procedimientos internos de mantenimiento.
- En los casos en los que los beneficios justifican la inversión decidir detalladamente quién realizará y quién auditará cada análisis, cuándo y dónde, y hacer los arreglos para que dichas personas reciban el entrenamiento apropiado.

Asegurar que el contexto operacional de cada activo físico esté claramente comprendido.

Información de salida del RCM II

Si es aplicado en la forma correcta, un análisis RCM II da tres resultados tangibles [MOUBRAY04]:

- Una lista de cambios que deben hacerse al diseño del activo físico, o a la manera que es operado, para lidiar con situaciones en las que el mismo no puede proporcionar el funcionamiento deseado con su configuración actual.
- Procedimientos Operativos Estándar (POE), para los operadores del activo.
- Planes de mantenimiento a ser realizados por el departamento de mantenimiento.

A continuación, en la Figura 2.3 se presenta el diagrama de aplicación de la metodología RCM II adaptado al presente Trabajo de Título, la cual busca dar solución a la problemática identificada en el Capítulo 1.

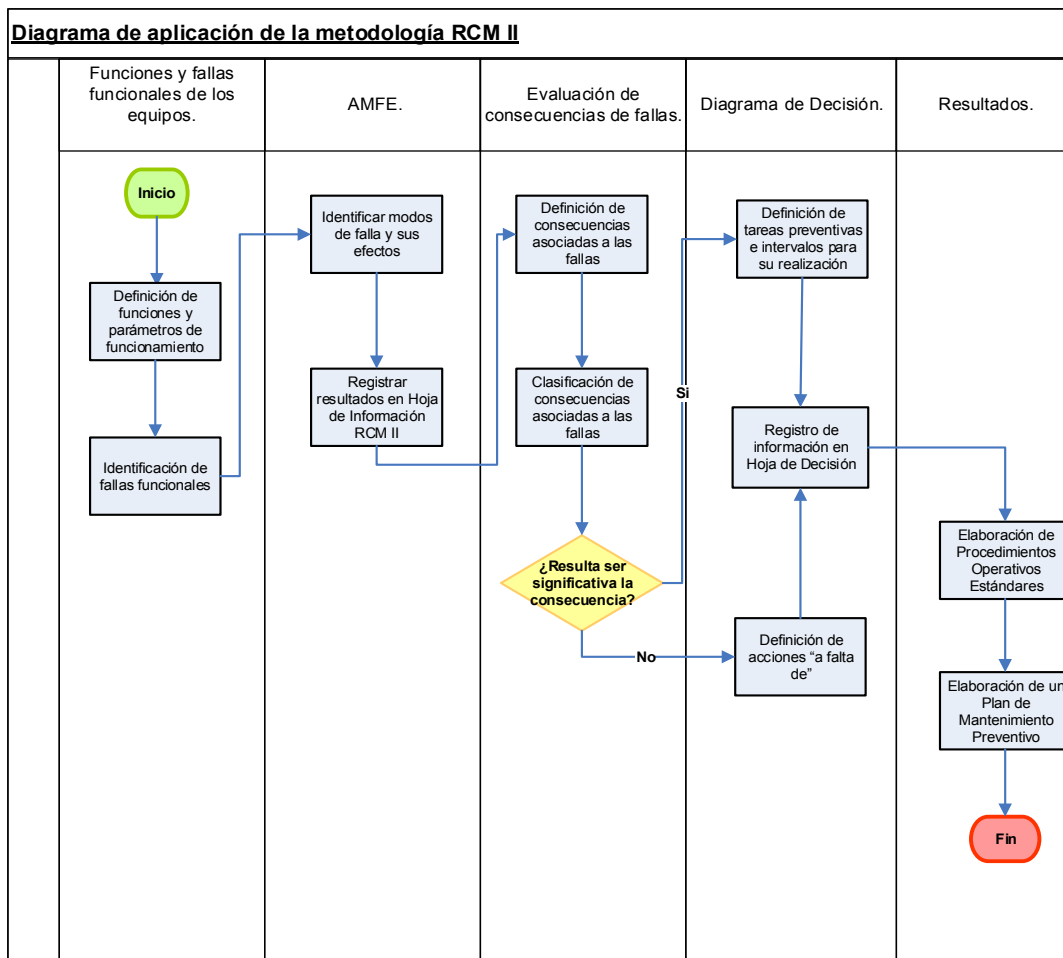


Figura 2.3 Diagrama de aplicación de la metodología RCM II.

Fuente: Elaboración propia.

2.7 Resumen Capítulo 2: Metodología

En este capítulo se realiza una descripción detallada de la metodología RCM II, la cual se encarga en su desarrollo de responder siete preguntas principales que plantea a través de dos herramientas fundamentales:

- i) Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (AMFE).
- ii) Diagrama de Decisión RCM II.

A través del AMFE se confecciona el primero de los dos documentos centrales utilizados por la aplicación de RCM II, que es la Hoja de Información RCM II.

Del Diagrama de Decisión RCM II se confecciona el segundo documento central de la aplicación de esta metodología, que es la Hoja de Decisión RCM II, la cual permite dar respuesta a las preguntas formuladas en el Diagrama de Decisión RCM II.

En este capítulo también se describen herramientas complementarias a la metodología RCM II, las cuales no forman parte del método, sin embargo, es necesario definir las para su comprensión y posterior análisis. Estas herramientas son; tipos de mantenimiento, confiabilidad operacional e indicadores de gestión de mantenimiento donde se encuentran tiempo medio entre fallas, tiempo medio en reparación y Disponibilidad.

Finalmente se realiza el Diagrama de Flujo de la aplicación de metodología RCM II, el cual se aprecia en la Figura 2.3.

3. Aplicación de la metodología

En este capítulo, se presenta la aplicación de la metodología RCM II descrita en el Capítulo 2, la cual se desarrolla de acuerdo al Diagrama de Flujo descrito en la Figura 2.4.

3.1 Indicadores de gestión de mantenimiento como herramienta complementaria a la metodología RCM II

A continuación, se presentan indicadores de gestión de mantenimiento para los equipos críticos del Proceso Minero de la CMCN seleccionados en el Capítulo 1.

Para la obtención de estos indicadores se consideró:

- Horas de operación (HO): son las horas en las que el equipo es entregado al operario en condiciones para que éste ejecute las tareas para las cuales fue diseñado.
- Horas de mantenimiento (HM): son las horas hábiles comprendidas desde que el equipo presenta una falla la cual no permite realizar las tareas para las cuales fue diseñado o desde que es entregado a mantención para ser reparado o realizar mantenciones preventivas. Estas horas se dividen en horas de mantenimiento preventivo, horas de mantenimiento correctivo y horas de panne, las cuales corresponden al tiempo en que el equipo no puede realizar las tareas para las cuales fue diseñado debido a fallas sin estar siendo intervenido.
- Número de fallas: este número se obtuvo mediante la revisión del historial de falla.

Cuando un equipo presenta una falla, el departamento de mantención asigna a un mecánico para inspeccionar el equipo y de acuerdo al estado en que se encuentre y a los requerimientos de reparación; las tareas de mantenimiento son realizadas de la siguiente forma, tal como se observa en la Tabla 3.1.

Tiempos de repuesta		
Intervención	Hrs fuera de operación	Reparación
Mantenimiento correctivo	< a 48	Inmediata
Reparaciones mayores y Pannes	> a 48	Reprogramación

Tabla 3.1: Tiempos de respuesta

Fuente: [PROTOCOLO300-01].

A continuación, en la Tabla 3.2 se presentan los indicadores de gestión de mantenimiento a utilizar en el presente Trabajo de Título, los cuales son: Tiempo medio entre fallas, Tiempo medio de reparación y Disponibilidad de equipos, definidos por las ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3 respectivamente, descritas en el Capítulo 2.

Indicadores de gestión			
Equipos	MTBF (Hrs)	MTTR (Hrs)	Disponibilidad (%)
Excavadora Komatsu PC800	143	133	65
Perforadora Junjin 1300 N°1	123	16	97

Tabla 3. 2 Indicadores de gestión

Fuente: Elaboración propia a partir del historial de fallas.

3.2 Descripción de los sistemas y subsistemas a analizar

A continuación, se describen los sistemas y componentes de los equipos críticos de las áreas de Carguío y Perforación de la CMCN mediante la revisión de los manuales de fabricante y entrevistas con el personal del área de mantenimiento.

3.2.1 Excavadora Komatsu PC800

t

La excavadora hidráulica Komatsu PC800 tiene como función la excavación y carguío de mineral y estéril. Este equipo cuenta con tres partes principales:

- Unidad de propulsión: conocida también como oruga, permite el desplazamiento hacia la zona de trabajo y sirve de base para la estructura superior.
- Unidad giratoria: esta parte de la excavadora incluye una cabina giratoria y todo el sistema de control (motores, sistema hidráulico, sistema eléctrico, entre otros.).
- Estructura manipuladora: este equipo cuenta con una estructura de manipulación compuesta por la pluma, el brazo y el balde. A través de unos cilindros hidráulicos, el operador desde la cabina puede manipular cada parte del brazo de la excavadora para hacer movimientos más precisos, el brazo es el elemento excavador que se articula a la parte superior de la pluma, y en la parte inferior va unido al balde, el cual tiene una capacidad máxima de 6.9 m³.



Figura 3.1 excavadora Komatsu PC800

Fuente: [Komatsu16].

Para realizar un completo análisis de este equipo y gracias a la opinión de expertos, a continuación, se definen los siguientes sistemas que serán analizados bajo la aplicación de la metodología RCM II y los equipos que los conforman.

Sistema Hidráulico y subsistemas

El sistema hidráulico es un sistema de flujo compensado, esto quiere decir que asegura que la máxima potencia disponible sea dirigida a sectores donde el equipo más lo necesite. Este sistema se encarga de dar movilidad a la pluma, brazo y balde de la excavadora a través de un fluido hidráulico el cual transmite energía a todo el sistema.

Dentro del sistema hidráulico de la excavadora Komatsu PC800 se encuentra como subsistema el siguiente componente:

- Bomba principal.

Sistema Eléctrico y subsistemas

El sistema eléctrico provee al equipo la energía necesaria para el arranque y desplazamiento a la hora de ejecutar las tareas. Está compuesto por baterías, motor de arranque, alternador y cables de conexión e interruptores eléctricos y mecánicos.

Para el análisis de este sistema, se define como subsistema el siguiente componente:

- Motor.

Sistema Estructural y subsistemas

El sistema estructural se encarga de sostener y dar firmeza a la excavadora. Está compuesto por tres partes: el chasis, la estructura y el balde. El chasis es la estructura portante del desplazamiento mediante cadenas o ruedas neumáticas conocidas como orugas, luego se encuentra la estructura propiamente tal; la cual la conforman la cabina y un contrapeso. Finalmente está el balde, quien tiene la función de cargar el material.

Para el análisis de este sistema, se define como subsistema la siguiente estructura:

- Balde.

Luego de identificar los sistemas y subsistemas que serán analizados bajo la aplicación de la metodología seleccionada, en la Tabla 3.3 se describen los subsistemas identificados de acuerdo a su función principal y a los modos de falla. En la Figura 3.2 se muestra la vista general del equipo y sus componentes.

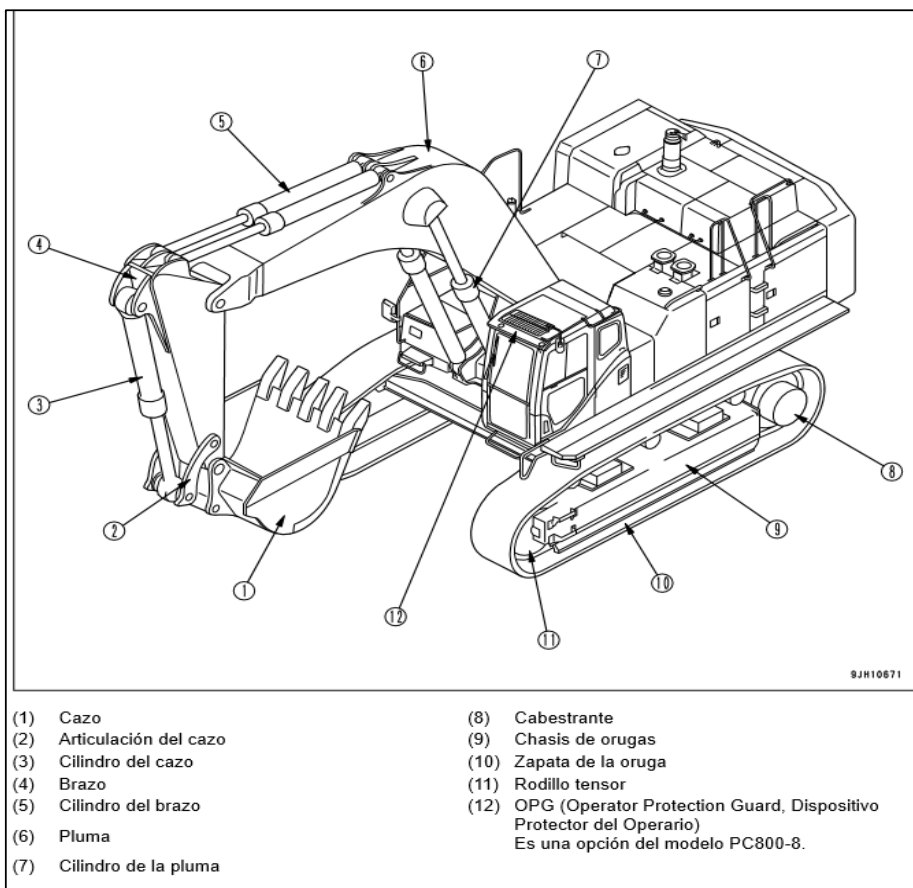


Figura 3.2 Vista general del equipo

Fuente: Manual de mantenimiento excavadora Komatsu Pc800

Sistema	Subsistema	Función	Modo de falla
Hidráulico	Bomba principal	Proveer presión al sistema hidráulico para el buen funcionamiento del brazo, pluma y balde.	Brazo inmóvil
			Carencia de rotación
			Pérdida de fuerza
			Movimiento no deseado del brazo
			Brazo atascado
			Movimientos inexactos
Eléctrico	Motor	Proveer al equipo de torque y desplazamiento.	No funciona
			Luces e indicadores luminosos apagados
			Consumo excesivo de aceite
			Calentamiento del motor
Estructural	Balde	Carga y descarga de material.	Fisura del balde
			Rotura de dientes
			Desgaste de pasadores

Tabla 3.3 Funciones y modos de falla de los subsistemas de la excavadora PC800.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Perforadora Junjin

Esta máquina es una perforadora rotopercutora de origen coreano, utilizada por la CMCN para perforar el yacimiento. Para su funcionamiento requiere energía hidráulica, posee un pistón que transmite dicha energía de impacto a la barra de perforación y una válvula de control que dirige el fluido hidráulico a presión, generando el movimiento de avance y retroceso del pistón. La parte giratoria es propulsada por un motor hidráulico.

Este equipo cuenta con tres partes principales:

- Sistema hidráulico, el cual está compuesto principalmente por cilindro, pistón y válvulas. El cilindro va cerrado por una tapa delantera que dispone de una abertura axial donde se coloca el elemento portabarrenas, y un dispositivo retenedor de las varillas de perforación. El pistón realiza un movimiento alternativo que va golpeando el vástago o culata a través de la cual se transmite la onda de choque a la varilla. Las válvulas son las encargadas de regular el paso del fluido comprimido en volumen fijado y de forma alternativa a la parte posterior y anterior del pistón.

- Mecanismo de rotación: este es de barra estriada. Utilizado para perforación ligera, el pistón tiene forma tubular y rodea a la barra por medio de una tuerca de rotación. La barra va conectada a los componentes estáticos del martillo por medio de trinquetes y el extremo frontal del pistón dispone de unas estrías planas que durante la carrera de retroceso del pistón giran arrastrando al varillaje en el mismo sentido. También puede ser de rotación independiente que es la que se utiliza para perforación de barrenos de gran diámetro, el extremo frontal del pistón tiene estrías rectas y coloidales. Estas estrías engranan con las de tuerca del buje de rotación que va unido interiormente a la rueda de trinquetes. Las varillas sólo giran durante la carrera de retroceso del pistón.
- Sistema de barrido: consiste en un tubo que permite el paso del aire hasta el interior del varillaje. Su función es expulsar el material molido producto del avance de las barras de perforación.

Para realizar un completo análisis de este equipo y gracias a la opinión de expertos, a continuación, se definen los siguientes sistemas que serán analizados bajo la aplicación de la metodología RCM II y los equipos que los conforman.

Sistema Hidráulico y subsistemas

El sistema hidráulico es un sistema de flujo compensado, esto quiere decir que asegura que la máxima potencia disponible sea dirigida a sectores donde el equipo más lo necesite. Este sistema se encarga de dar rotación y movimientos de avance y retroceso al equipo. El motor actúa sobre las bombas que suministran el caudal de aceite que acciona componentes de rotación y movimiento del pistón.

Dentro del sistema hidráulico de la perforadora Junjin se encuentran como subsistemas los siguientes componentes:

- Bombas de flujo variable.
- Válvulas.
- Motor hidráulico.

Sistema Mecánico y subsistemas

El sistema mecánico está constituido por componentes cuya función principal es transmitir el movimiento desde la fuente que lo genera, en este caso el motor hidráulico, al transformar distintos tipos de energía.

Para el análisis de este sistema, se define como subsistema el siguiente componente:

- Compresor.

Sistema Retopercutor y subsistemas

El sistema retopercutor se encarga de generar movimientos de rotación y percusión. La percusión se realiza directamente sobre la roca, aquí la energía es transmitida desde el pistón hacia la broca en forma de ondas de choque, cuando la onda de choque alcanza la broca una parte de la energía se transforma en trabajo haciendo penetrar la broca y el resto se refleja y retrocede a través del varillaje.

La rotación se efectúa al exterior haciendo girar la broca entre impactos sucesivos, tiene como misión hacer que ésta actúe sobre puntos distintos de la roca en el fondo de la perforación. En cada tipo de roca existe una velocidad óptima de rotación para la cual se producen los detritos de mayor tamaño al aprovechar la superficie libre del hueco que se crea en cada impacto.

Para el análisis de este sistema, se define como subsistema la siguiente estructura:

- Martillo.
- Broca.

Luego de identificar los sistemas y subsistemas que serán analizados bajo la aplicación de la metodología seleccionada, en la Tabla 3.4 se describen los subsistemas identificados de acuerdo a su función principal y a los modos de falla. En la Figura 3.3 se muestra la vista general del equipo y sus componentes.

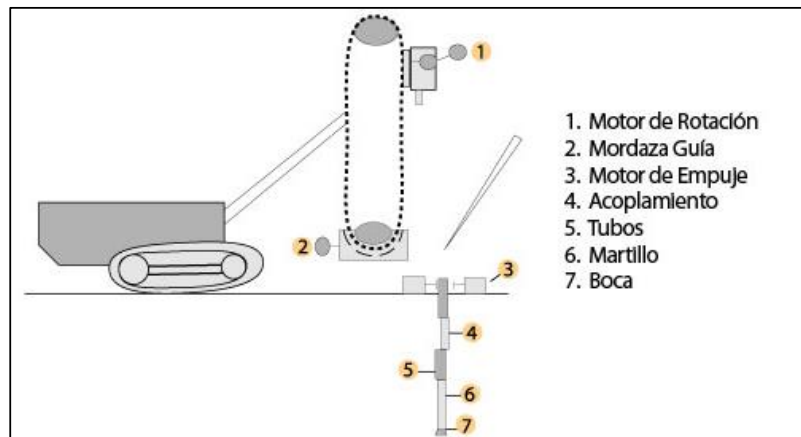


Figura 3.3 Vista general del equipo
Fuente: Manual de mantenimiento perforadora Junjin.

Sistema	Subsistema	Función	Modo de falla
Hidráulico	Bomba principal	Suministra el caudal de aceite que acciona movimientos de rotación.	Suciedad de filtro
			Rotor trabado
			Engranaje de la bomba de impulsión en mal estado
			Correa de transmisión averiada
			Baja presión en la dirección del caudal
	Válvulas de descarga	Dirige el fluido hidráulico a presión.	Movimientos inexactos
Motor hidráulico	Generar movimientos de rotación y suministrar movimiento de empuje.	Obstrucción de filtros	
		Sobrecalentamiento	
Mecánico	Compresor	Evacuar el detrito y aumentar la potencia de percusión.	Obstrucción de filtros
			Desgaste de elementos cortantes
			Retorno del aceite
			Exceso de polvo en suspensión
			Sobrecalentamiento
			Falta de refrigerante
Retopercutor	Martillo	Entrega fuerza de impacto con el fin de penetrar y romper la superficie o roca.	Sobrecalentamiento
			Desarticulación de barras
			Desajuste de roscas de unión entre tubería y martillo
			Falta de lubricación
			Brocas en mal estado
	Broca	Cortar y triturar la superficie o roca.	Desgaste de elementos cortantes

Tabla 3. 4 Funciones y modos de falla de los subsistemas de la perforadora Junjin
Fuente: Elaboración propia.

3.3 Grupo de análisis

Para el análisis y posterior desarrollo de la metodología RCM II, se conformó un equipo de trabajo en conjunto con el personal de las áreas de mantenimiento y operaciones. El análisis de la situación actual de los equipos se realizó mediante reuniones y visitas al RML donde se observó el trabajo diario que realizan los equipos en estudio.

Para el desarrollo de la metodología fue necesario delegar responsabilidades dentro del grupo de análisis para así llevar a cabo las herramientas integradas a la metodología descritas en el Capítulo 2 y desarrollar la metodología propiamente tal.

En la Figura 3.3 se observan los integrantes del grupo de análisis.

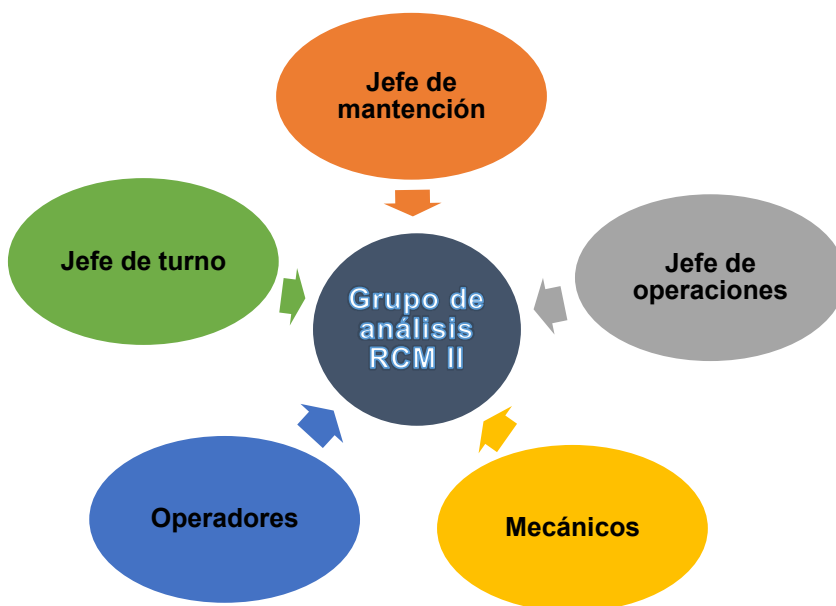


Figura 3.4 Grupo de análisis RCM II.

Fuente: Adaptación a partir de RCM II, [MOUBRAY04].

A continuación, se definen las funciones de los integrantes del grupo de análisis.

Jefe de mantenimiento: posee una visión global sobre el proceso de mantenimiento, encargado de supervisar los trabajos finalizados al interior de la planta

y encargado de reparaciones mayores. Aportó con informes de indicadores de gestión de mantenimiento utilizados por la empresa.

Jefe de Operaciones: posee una visión general del proceso que se realiza en el RML, por lo que proporcionó información sobre la planificación de metros perforados y tonelaje de carga actual e histórico.

Mecánicos: entregaron información técnica sobre los equipos en estudio, cuales presentan fallas recurrentes y cuáles son las fallas más comunes. Proporcionaron también información sobre los procedimientos que se realizan en el taller, hojas de chequeo y solicitudes de repuestos y asistencia de personal experto, además de aportar con su experiencia.

Operadores: manipulan los equipos, lo que es de gran importancia para su conservación haciendo buen uso de ellos. Aportaron con su experiencia para determinar las principales causas de deterioro.

Jefe de turno: conoce en detalle el funcionamiento de los equipos a analizar y la probabilidad de falla de acuerdo al sector donde trabajan. Permitió el acceso a las hojas de trabajo y coordinó el ingreso al RML para recabar información.

3.4 Análisis de Modos de Fallas y sus Efectos (AMFE)

Luego de definir las funciones y componentes de cada sistema, se identificaron las fallas funcionales asociadas al funcionamiento de los equipos críticos en estudio. Posterior a esto se determinaron los modos de fallas causantes de que la función principal de los equipos se vea afectada teniendo una incidencia directa sobre la producción de la CMCN, además se determinaron los efectos de cada falla en relación a su contexto operacional, ambiental y personal.

Los resultados obtenidos de este análisis fueron registrados en las Hojas de Información RCM II, las cuales se encuentran disponibles en el Anexo 3.1. En la Tabla 3.5 se muestra un extracto de la Hoja de Información del sistema “Hidráulico” de la excavadora Komatsu PC800.

Hoja de información RCM II		Sistema: Hidráulico excavadora PC800		
		Subsistema: Bomba		
Función	Falla Funcional	Modo de falla	Efecto de la falla	
1 Proveer presión al sistema hidráulico para el buen funcionamiento o del brazo, pluma y balde.	A Problemas de accionamiento o del brazo	1 Brazo inmóvil.	El brazo no se mueve o se desplaza con lentitud, por lo que el equipo es incapaz de realizar las funciones para las que ha sido diseñado, viéndose interrumpida la operación.	
		2 Pérdida de fuerza.	El equipo no trabaja a total capacidad, debido a la fuga de aceite por rotura de sellos por lo que se genera un desgaste de la estructura del brazo, pluma y balde. De no detectarse a tiempo esta falla puede generar el fundimiento del motor, de lo contrario esta falla involucra cambio de sellos y revisión del sistema hidráulico.	
		3 Resorte de control de presión averiado, impidiendo el buen funcionamiento de la válvula reductora.	Provoca movimientos no deseados del brazo y desplazamiento con lentitud del equipo, impidiendo excavar con normalidad provocando un retraso en la producción.	

Tabla 3.5 Extracto hoja de información RCM II Sistema hidráulico excavadora PC800.

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Diagrama de decisión RCM II

Una vez realizadas las Hojas de Información RCM II para los equipos en estudio se procedió a elaborar las Hojas de Decisión RCM II, las cuales se realizaron a partir del Diagrama de Decisión RCM II, el cual clasifica cada efecto de falla de acuerdo al tipo y gravedad de las consecuencias que éstos podrían generar en caso de ocasionarse una falla funcional.

Para decidir que tareas se deben realizar, el Diagrama de Decisión RCM II las clasifica tal como se aprecia en la Tabla 3.6.

Consecuencias, Tareas proactivas y acciones a falta de}	
Consecuencias	<ul style="list-style-type: none"> • Consecuencias de fallas ocultas. • Consecuencias ambientales y para la seguridad. • Consecuencias operacionales y no operacionales.
Tareas proactivas	<ul style="list-style-type: none"> • Reacondicionamiento cíclico. • Sustitución cíclica. • Tarea a condición.
Acciones a falta de	<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda de fallas. • Rediseño. • Ningún mantenimiento programado.

Tabla 3.6 Consecuencias, tareas proactivas y acciones a falta de.

Fuente: Elaboración propia.

A través de la aplicación del Diagrama de Decisión RCM II se obtienen las Hojas de Decisión RCM II, en la Tabla 3.7 se muestra un extracto de la Hoja de Decisión del sistema "Hidráulico", subsistema "Bomba" de la excavadora Komatsu PC800. En el Anexo 3.2 se encuentran las Hojas de Decisión de todos los sistemas y subsistemas de los equipos en estudio.

Hoja de Decisión RCM II			Sistema: Hidráulico Excavadora PC800						Facilitador:			
			Subsistema: Bomba						Auditor:			
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3			
							O1	O2	O3			
1	A	1	S	N	N	S	N	S		Lubricar piezas móviles de la estructura del brazo.	Mensual	Mecánico
1	A	2	S	N	N	S	S			Inspección visual por desgaste de sellos.	Mensual	Mecánico
1	B	1	S	N	N	S	S			Revisar el estado del motor.	Cada 3 meses	Mecánico
1	B	2	S	N	N	S	S			Verificar funcionamiento de impulsión y succión de la bomba.	Cada 3 meses	Mecánico

Tabla 3.7: Extracto hoja de decisión subsistema Bomba excavadora PC800.

Fuente: Elaboración propia.

3.6 Elaboración de Procedimiento Operativo Estándar (POE) para formulación de propuesta de plan de mantenimiento para los equipos críticos del área de perforación y carguío de la CMCN.

Luego de determinar las necesidades reales de mantenimiento de los activos físico en estudio y de realizar las hojas de decisión RCM II, se procedió a realizar un Procedimiento Operativo Estándar (POE) para cada equipo crítico donde se señala el tipo de mantención a realizar, la frecuencia y el personal encargado de realizarlas. En la Tabla 3.8 se presenta un extracto del POE propuesto para la excavadora Komatsu PC800.

Procedimiento Operativo Estándar	
Sistema:	Excavadora Komatsu PC800
Responsable:	Jefe de mantención y mecánicos
Frecuencia:	Trimestral
Inspección desgaste de sellos.	
1.- Detener el suministro eléctrico del equipo.	
2.- Delimitar la zona a intervenir.	
3.- Realizar una inspección visual de los componentes del sistema.	
4.- Revisar el estado de aislación de sellos. En caso de observar alguna anomalía e la hermeticidad de los sellos, dar aviso al encargado del taller para su reparación o verificación de componentes.	
En caso de fuga del fluido hidráulico, realizar pruebas de fuga para asegurar el buen funcionamiento del sistema.	

Tabla 3.8 Extracto Procedimiento Operativo Estándar excavadora Komatsu PC800.

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo 3.3 se encuentra la totalidad de los POE de los equipos en estudio en el presente Trabajo de Título.

El resultado de éste Trabajo de Título es la elaboración de un Plan de Mantenimiento Preventivo, el cual será propuesto al Departamento de Mantención y Operaciones Mina de la CMCN, disponible en el Anexo 3.5. La función principal de éste Plan de Mantenimiento Preventivo es estandarizar los procedimientos realizados en la mantención preventiva.

3.7 Resumen Capítulo 3: Aplicación de la metodología

En el presente capítulo, se desarrolló la aplicación de la metodología descrita en el capítulo anterior.

Para identificar el funcionamiento actual de los equipos en estudio, se definieron indicadores de gestión de mantenimiento tales como Tiempo entre fallas, Tiempo medio en reparación y disponibilidad de los equipos. Con análisis de estos indicadores fue posible concluir que los equipos en estudio presentan una baja disponibilidad debido a un mantenimiento inadecuado según parámetros definidos por el departamento de mantención de la CMCN.

Luego se identificaron los sistemas de cada equipo crítico en estudio para establecer sus componentes principales y la función de cada uno de ellos.

Posteriormente se definen las responsabilidades del mantenimiento realizado por el área de mantención de la CMCN, ya que es en esta área donde se aplicará la metodología RCM II y es de vital importancia que todos los involucrados participen, dando sus opiniones sobre las ideas propuestas.

Una vez definidas las responsabilidades se procede a la aplicación del método RCM II con las herramientas que esta metodología posee. A través del AMFE se procedió a la elaboración de las Hojas de Información RCM II. Por medio del Diagrama de Decisión RCM II se formularon las Hojas de Decisión RCM II y finalmente con la elaboración de Procedimientos Operativos Estándar (POE) se dio origen a un Plan de Mantenimiento Preventivo, que será propuesto al Departamento de Mantención de la CMCN, disponible en el Anexo 3.5.

4. Análisis de resultados

El capítulo desarrollado a continuación, presenta el análisis de resultados obtenidos luego de la aplicación de la metodología RCM II, la cual ha sido seleccionada para realizar el presente Trabajo de Título. Comenzando con la selección de equipos críticos del Proceso Minero de la CMCN, luego identificando sus funciones, modos de fallas y sus efectos mediante el AMFE. Para continuar con el del detalle de tareas preventivas a realizar y su planificación. Finalizando con un análisis de costos del mantenimiento actual versus los costos propuestos por el plan de mantenimiento elaborado en base a la metodología en estudio.

4.1 Análisis de criticidad y selección de equipos

Para determinar la criticidad de los equipos del Proceso Minero de la CMCN y su posterior selección, fue necesario realizar una encuesta a expertos donde participó el Jefe de Operaciones, Jefe de mantención, Jefe de turno y cuatro mecánicos. El objetivo de esta encuesta fue jerarquizar los equipos de acuerdo a su importancia dentro de la operación y a los tiempos de respuesta ante una eventual falla. Esto se observa en la Figura 4.1.

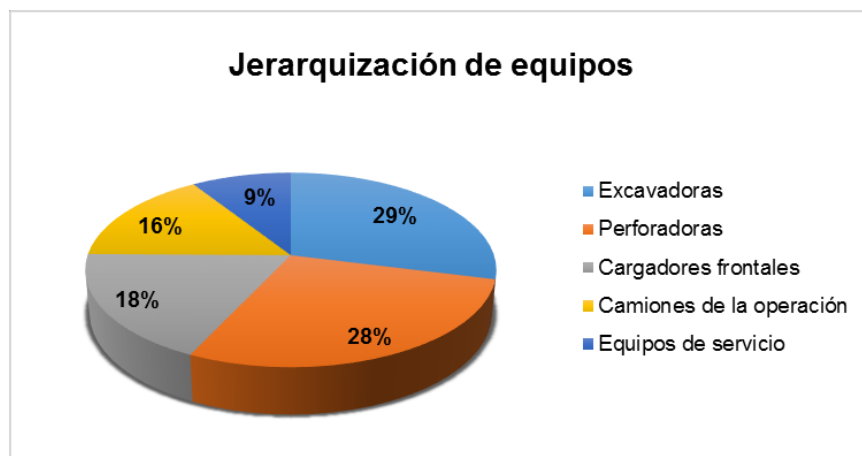


Figura 4. 1 Jerarquización de equipos según encuesta a expertos.

Fuente: Elaboración propia.

En base a esta encuesta se realizó un análisis de criterios tales como; número de fallas, tiempo entre fallas, disponibilidad y costos de mantenimiento de las excavadoras y perforadoras, ya que su importancia dentro de la operación y prioridad

de intervención superan el 50% del total de los equipos. El análisis de estos criterios se refleja en la Tabla 4.1.

Resumen análisis de criterios				
Equipos	Tiempo efectivo (Hrs)	Disponibilidad (%)	Horas de mantenimiento	Costos de mantenimiento (\$)
Excavadora Komatsu PC800	2.164	65	2.616	42.406.434
Excavadora Komatsu PC600	1.610	66	2.484	25.293.744
Excavadora Komatsu PC450	5.782	98	162	22.314.600
Excavadora Hitachi 450	620	96	163	2.909.770
Excavadora Cat 330	422	96	219	6.895.364
Perforadora Junjin 1300 N°1	986	97	192	4.555.200
Perforadora Junjin 1300 N°2	1.909	99	42	1.508.400

Tabla 4.1: Análisis de criterios de equipos críticos.

Fuente: Elaboración propia.

Posterior al análisis de criterios y tomando en consideración la opinión de expertos, se decidió trabajar con la excavadora Komatsu Pc 800 y con la Perforadora Junjin 1300 n°1 debido a los altos costos de mantenimiento y a la disponibilidad que presentan estos equipos.

4.2 Identificación de los modos de falla, efecto y funciones de los equipos críticos

Para poder identificar los modos de falla, efectos y funciones de los equipos en estudio fue necesario responder a las cuatro primeras preguntas que plantea la metodología RCM II las cuales son:

3. ¿Cuáles son las funciones del activo?
4. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
5. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
6. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?

Estas cuatro preguntas se reflejan en la Hoja de Información RCM II, la cual fue la base para definir las tareas de mantenimiento para los equipos críticos en estudio.

La excavadora Komatsu PC 800 presenta fallas en el accionamiento del brazo debido a problemas en el sistema hidráulico, esto genera un retraso en la producción al restringir el radio de giro del equipo, ya que el brazo se mueve con dificultad ocasionando además problemas en el sistema de rotación.

Las fallas de tipo eléctricas, generan el calentamiento del motor lo que se refleja en la rotura de sellos y mangueras, avería de sensores de indicadores básicos, sistema de refrigeración y fuga de aceite. Estas fallas provocan el funcionamiento parcial ó no funcionamiento del equipo, por lo que su intervención debe ser inmediata para que así el equipo recupere su capacidad de carguío.

Otra falla recurrente que presenta este equipo es el desgaste de elementos cortantes, bujes y pasadores debido a la falta de lubricación. Esto impide el posicionamiento del soporte de carga quitándole estabilidad al balde, debiendo retirar el equipo de la operación para la reparación o en su defecto el reemplazo de piezas averiadas.

El compresor de la perforadora Junjin, como se detalla en su funcionamiento en el Anexo 3.1 se encarga de aumentar la presión y desplazar el fluido hidráulico a través del sistema. Las fallas principales asociadas al compresor que presenta este equipo se relacionan con calor excesivo, retorno del líquido refrigerante, fuga de aceite y pérdida de potencia del equipo. Las consecuencias de estas fallas son principalmente la disminución en el rendimiento del equipo, perforación deficiente, rotura de filtros, sellos y mangueras, y además contaminación del medio ambiente por la rotura de captadores de polvo.

La perforadora Junjin cuenta con un sistema retopercutor conformado por el martillo y la broca de perforación. Las fallas que presenta la perforadora asociadas a este sistema son principalmente la rotura prematura del martillo; esta falla se asocia a la corrosión debido a las condiciones ambientales del RML, la falta de lubricación de piezas móviles generando el aumento de temperatura del martillo y a la oxidación debido a los residuos metálicos presentes en la superficie. En cuanto a la broca la falla recurrente es el desgaste de ésta, debido a que no se verifica previo a la operación la dureza de la superficie utilizando muchas veces una broca no adecuada para perforar una superficie de alta dureza generando un mayor desgaste y perforación deficiente del equipo.

En cuanto a las fallas hidráulicas que presenta la perforadora las cuales inciden directamente sobre el motor de rotación, impiden que el equipo genere movimiento de empuje y de rotación, retrasando no sólo el proceso de perforación,

sino que a la producción completa llevada a cabo por la CMCN ya que la perforación corresponde a la primera operación unitaria básica de la minería.

4.3 Clasificación de tareas y planificación del mantenimiento.

El plan de mantenimiento actual que presenta la CMCN para los equipos críticos en estudio está distribuida cada 3 meses para la excavadora Komatsu PC 800 donde las tareas preventivas a realizar son ajuste de bujes y pasadores, lubricación y cambios de filtro. Las demás fallas que presenta este equipo son tratadas como mantenciones correctivas.

En el caso de la perforadora, CMCN realiza mantenciones preventivas cada 4 meses donde se realiza la lubricación de piezas móviles, cambio de filtro del compresor e inspección del sistema eléctrico. Las demás fallas que presenta este equipo son tratadas como mantenciones correctivas.

En el paso final de la aplicación de la metodología RCM II, se realizó la elaboración de un Procedimiento Operativo Estándar para cada equipo crítico en estudio, en el cual se proponen tareas de mantenimiento preventivo, intervalos de tiempo para la ejecución de las tareas y el encargado de realizarlas, dependiendo si se trata de inspecciones, reacondicionamiento cíclico ó sustitución de piezas.

A continuación, en la Tabla 4.2 se muestra la planificación anual de las mantenciones propuestas por el plan de mantenimiento elaborado a partir de la metodología RCM II para los equipos críticos en estudio.

Tiempo de mantenimiento	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Mensual												
Cada 3 meses												
Cada 6 meses												

Tabla 4.2 Planificación de mantenimiento propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la aplicación de la metodología RCM II, determinando los modos de falla y sus efectos, las funciones de los equipos y la aplicación del Diagrama de Decisión para completar la Hoja de Decisión RCM II. Fue posible elaborar los POE para cada equipo crítico en estudio determinando las tareas de mantenimiento a realizar y sus intervalos; los cuales dan paso a la elaboración de un Plan de Mantenimiento Preventivo propuesto para este Trabajo de Título, el cual se encuentra en el Anexo 3.5.

4.4 Análisis de Costos

El plan de mantenimiento preventivo elaborado a partir de la aplicación de la metodología RCM II y sus herramientas complementarias, tiene como finalidad disminuir los costos asociados a mantenciones correctivas por medio de la ejecución de tareas preventivas planificadas.

El plan de mantenimiento define mantenciones preventivas realizadas en intervalos de tiempo, las cuales son valorizadas de acuerdo a los parámetros fijados por el departamento de mantención de la CMCN. Se define el valor por hora de mantenimiento preventivo al mes, el cual es calculado en forma lineal para el año completo considerando 483 horas mensuales.

En la Tabla 4.3 se observa el total de los costos de mantenimiento de los equipos críticos en estudio para el año 2015. En el Anexo 3.4 se encuentra el detalle de la valoración de mantenimiento para el año 2015 llevada a cabo por la CMCN para la excavadora Komatsu PC 800 y la perforadora Junjin 1300, la cual contempla mantenimiento preventivo, correctivo y reparaciones mayores; esta valoración se basa en la experiencia adquirida por los expertos, la cual varía levemente año a año.

Costos mantenciones año 2015			
Equipo	Mantenciones preventivas	Mantenciones correctivas y rep. Mayores	Costo total
Excavadora PC 800	\$ 16.379.496	\$ 26.026.938	\$ 42.406.434
Perforadora Junjin	\$ 10.513.944	\$ 15.649.200	\$ 26.163.144

Tabla 4.3: Costos de mantención de equipos críticos para el año 2015.
Fuente: Elaboración propia.

El plan de mantenimiento preventivo propuesto contempla la redistribución de las tareas de mantenimiento preventivo actual de acuerdo a lo conversado con el Jefe de mantenimiento, por lo tanto, los costos de mantenimiento preventivo presupuestados se mantienen tras la implementación del plan. En cuanto al mantenimiento correctivo y reparaciones mayores, se aprecia una disminución de los costos; ya que al realizar el mantenimiento preventivo de manera oportuna y eficiente se espera que las paradas por avería disminuyan considerablemente, considerando sólo detenciones por sustitución o reacondicionamiento de piezas.

En relación a los costos asociados a la mano de obra, no presentan variaciones tras la implementación del plan, ya que el personal a cargo de realizarlas

recibe un sueldo fijo mensual que no depende de la cantidad de mantenciones realizadas.

A continuación, la Tabla 4.4 y 4.5 muestran el detalle de las mantenciones correctivas a ejecutarse tras la implementación del plan de mantenimiento preventivo propuesto para la excavadora Komatsu PC 800 y perforadora Junjin.

Mantenimiento correctivo y reparaciones mayores excavadora PC 800	
Bomba inyectora	\$ 3.600.000
Válvula	\$ 2.100.000
Repuestos varios	\$ 2.500.000
Climatizador Bepo	\$ 320.000
Botella hidráulica	\$ 1.800.000
Materiales y repuestos	\$ 600.000
Total	\$ 10.920.000

Tabla 4.4: Costos de mantenimiento correctivo excavadora PC 800 con RCM II.
Fuente: Elaboración propia.

Mantenimiento correctivo y reparaciones mayores perforadora Junjin	
Set de brocas	\$ 2.125.000
Válvula distribuidora	\$ 2.100.000
Resorte regulador de presión	\$ 600.000
Repuestos sistema eléctrico	\$ 1.380.000
Total	\$ 6.205.000

Tabla 4.5: Costos de mantenimiento correctivo perforadora Junjin con RCM II.
Fuente: Elaboración propia.

4.5 Resumen Capítulo 4: Análisis de resultados

En el presente capítulo, se describen los resultados obtenidos a lo largo de este Trabajo de Título, como lo fue en primera instancia la selección de equipos críticos, a partir de una encuesta a expertos y al análisis de distintos criterios.

Luego a través de la identificación de los modos de fallas, efectos y funciones de los equipos críticos seleccionados se completan las Hojas de Información RCM II, para las cuales fue necesario identificar la función, clasificar las fallas funcionales, ver el modo de falla y finalmente identificar el efecto que esa falla puede tener en el equipo.

Posteriormente al aplicar el Diagrama de Decisión en la Hoja de Decisión RCM II, se determina qué tareas se realizarán, el responsable de realizarlas, la frecuencia y el paso a paso para completar la operación en el plan de mantenimiento, las cuales son ordenadas de acuerdo al tiempo de ejecución en los Procedimientos Operativos Estándar. Que en conjunto permite crear el Plan de Mantenimiento Preventivo para los equipos críticos seleccionados.

Finalmente, para poner a prueba la metodología utilizada, se logra identificar el comportamiento mediante una simulación del plan propuesto por medio de una comparación de costos por mantenimiento preventivo y correctivo, se determinó que los costos asociados al mantenimiento preventivo permanecen iguales, sin embargo, los costos por mantenimiento correctivo disminuyen aproximadamente en un 58%. Por lo que se considera que el Plan de Mantenimiento Preventivo propuesto logra dar solución al problema principal

5. Conclusiones y recomendaciones

En el capítulo que se presenta a continuación, se exponen las conclusiones obtenidas luego del desarrollo del presente Trabajo de Título y las recomendaciones para la correcta ejecución del plan de mantenimiento propuesto.

5.1 Conclusiones

En el presente Trabajo de Título se realizó un análisis del mantenimiento preventivo y correctivo realizado a los equipos críticos de las áreas de Perforación y Carguío del proceso de Operaciones Mina llevado a cabo por la CMCN, el cual presentó altos costos asociados al mantenimiento correctivo durante el 2015.

Dicho análisis tuvo como objetivo identificar la situación actual de los equipos y en base a esto poder delimitar los equipos críticos sujetos a estudio.

La selección de los equipos críticos sujetos a estudio se realizó en base a una encuesta a expertos y al análisis de distintos criterios los cuales fueron:

- Criticidad de los equipos en el proceso.
- Tiempo efectivo.
- Tiempo de mantenimiento.
- Número de fallas.
- Tiempo entre fallas.
- Disponibilidad de los equipos
- Costos asociados a mantención

Luego de realizar el análisis exhaustivo de cada criterio, se decidió seleccionar a la excavadora Komatsu PC 800 y la perforadora Junjin. Estos equipos presentaron altos costos en mantenimiento correctivo lo cual se asocia directamente a la no disponibilidad de ellos para llevar a cabo las operaciones.

Para el año 2015 el costo total de mantenciones para la excavadora Komatsu PC 800 fue de \$42.406.434, de los cuales el 38% fue asignado a mantenciones preventivas y un 42% a mantenciones correctivas y reparaciones mayores, presentando una disponibilidad del 65%; lo que para la CMCN de acuerdo a sus parámetros se traduce en un mantenimiento inadecuado de acuerdo a lo descrito en la página 45.

En el caso de la perforadora Junjin, el costo total por mantenciones fue de \$26.163.144, de los cuales el 40% fue asignado a mantenciones preventivas y un 60%

a mantenencias correctivas y reparaciones mayores, presentando una disponibilidad del 96%.

De la información obtenida se determinó que el problema se centra en altos costos en mantenencias correctivas producto de un inadecuado mantenimiento preventivo. Ya que el plan de mantenimiento preventivo actual no se cumple a cabalidad, generando una mayor cantidad de mantenencias correctivas.

En base a esto se formuló una propuesta de mantenimiento (disponible en el Anexo 3.5) basada en la aplicación de la metodología RCM II, donde se determinó que se debe hacer para que los equipos en estudio realicen las funciones para las cuales fueron diseñados. Para ello se utilizaron 2 herramientas; el AMFE y el Diagrama de Decisión, en base a esto se elaboraron las Hojas de Información y las Hojas de Decisión, mediante la clasificación de las fallas se determinaron los requerimientos de mantención para cada subsistema de los equipos críticos en estudio, esto permitió ver qué tarea proactiva era factible para prevenir las fallas. Con esta información se reorganizaron las tareas preventivas para cada equipo mediante los Procedimientos Operativos Estandarizados POE.

Como resultado del plan de mantenimiento en la Tabla 5.1 se observa una redistribución de las tareas de mantenimiento, las cuales se espera que sean realizadas de acuerdo a los intervalos planteados para los equipos sin ser pasadas por alto como ocurre con el actual mantenimiento de éstos.

Tiempo de mantenimiento	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Mensual												
Cada 3 meses												
Cada 6 meses												

Tabla 5. 1 Programación de mantenencias preventivas.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los costos asociados al mantenimiento preventivo, se mantienen de acuerdo al presupuesto anual que la Compañía destina para ellos, ya que las tareas han sido reorganizadas y distribuidas en los intervalos de tiempo antes mencionados y se espera el real cumplimiento de ellas.

De realizarse el mantenimiento preventivo propuesto se espera que los costos de mantenimiento correctivo y reparaciones mayores disminuyan considerando sólo costos por cambio de repuestos. Los que se detallan en las Tablas 4.4 y 4.5.

Para visualizar de una manera más clara la variación de costos de mantenimiento actuales versus los propuestos tras la aplicación de la metodología RCM II la Tabla 5.2 muestra una comparación entre los costos actuales de mantención y los costos propuestos posteriores a la aplicación del nuevo plan de mantenimiento.

Costos de mantenimiento				
Equipo	Actuales		Con RCM II	
	Mantenciones preventivas	Mantenciones correctivas	Mantenciones preventivas	Mantenciones correctivas
Excavadora PC 800	\$ 16.379.496	\$ 26.026.938	\$ 16.379.496	\$ 10.920.000
Perforadora Junjin	\$ 10.513.944	\$ 15.649.200	\$ 10.513.944	\$ 6.205.000

Tabla 5. 2 Comparación costos actuales v/s RCM II.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se concluye que el plan de mantenimiento preventivo propuesto de ser aplicado por la CMCN mejorará la situación actual de mantenimiento que presentan los equipos en estudio, ya que está orientado a la realización de tareas preventivas las cuales buscan prevenir fallas y mejorar el estado de los equipos otorgando mayor confiabilidad a los procesos, disminuyendo los costos de mantenimiento correctivo y reparaciones mayores de la excavadora Komatsu PC 800 y la perforadora Junjin en un 57% y un 60% respectivamente. A demás de amentar la disponibilidad y el tiempo medio entre fallas de estos equipos.

5.2 Recomendaciones

Luego de haber analizado la situación actual del área de mantenimiento de la CMCN y en relación a la información recopilada y a los datos obtenidos de dicho análisis se recomienda:

Generar instancias de capacitaciones tanto prácticas como de conocimiento general sobre los equipos, a los operarios para asegurar el correcto uso de ellos, evitando ocasionar fallas por el mal manejo de los equipos. También se recomienda una mayor supervisión y apoyo a las tareas de mantención realizadas por los alumnos en práctica de los liceos técnicos profesionales de la zona, a fin de mejorar la ejecución e información de todas las tareas de mantención realizadas. Además, se recomienda que cada 3 meses se realicen supervisiones aleatorias a las operaciones en los equipos, para así monitorear que los trabajos realizados por los operarios cumplan con

los parámetros de manipulación establecidos en las capacitaciones previamente realizadas.

Mejorar la comunicación y llevar a cabo una planificación en conjunto de las tareas de mantenimiento entre las áreas de Operaciones y Mantención, ya que muchas veces debido a un retraso en la producción las tareas de mantenimiento preventivo son pospuestas generando a corto plazo un mayor número de detenciones imprevistas por averías aumentando los costos de mantenimiento y disminuyendo la disponibilidad de los equipos.

Se recomienda mejorar el sistema de registro de información, ya que la información de mantenimiento es registrada en forma totalizada y el detalle de las intervenciones y costos empleados son llevados en hojas de trabajo, checklist y otros formularios en forma manual, lo cual implica un esfuerzo adicional del personal para generar informes.

Llevar a cabo las tareas de mantenimiento preventivo propuestas en los tiempos recomendados, ya que de esta forma disminuirá el número de detenciones imprevistas por averías, disminuyendo así los costos de mantenimiento correctivo y a la vez aumentando la disponibilidad de los equipos.

Para finalizar se recomienda implementar la metodología RCM II descrita en el presente Trabajo de Título para la excavadora Komatsu PC 800 y la perforadora Junjin durante un periodo de un año para poder evaluar los resultados, los cuales de ser favorables se recomienda elaborar un plan adaptado a las características de los demás equipos con los que cuenta la Compañía.

Bibliografía

[PÉREZ03a] Carlos Mario Perez J. Mantenimiento centrado en confiabilidad (adaptado) Soporte&Cia.ltda 10 de Septiembre 2010 <http://www.soporteycia.com.co>

[IUNT09] Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, Herramientas para la mejora de la calidad, 2009.

[CERRO NEGRO S.A.015] www.cerronegro.cl.

[PROTOCOLO300-01] Leonardo González C. Protocolo Revisión de Mantenimiento preventivo-correctivo, CMCN. 12 de Marzo 2007. Disponible en: Reservado Departamento de Mantención.

[PROTOCOLO200-03] Carlos Ramírez V. Protocolo Revisión de Mantenimiento preventivo-correctivo, CMCN. 3 de Octubre 2014. Disponible en: Reservado Departamento de Operaciones.

[MESA&ORTIZ&PINZÓN06] Dairo H. Mesa Grajales, Yesid Ortiz Sánchez, Manuel Pinzón. La Confiabilidad, la Disponibilidad y la Mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento, 2006.

[ARATA&FURNALETTO05] Adolfo Arata y Luciano Furnaletto. Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento. Santiago de Chile. Editores Ril 2015.

[ALBERTO12] Joseph Alberto. Diseño y Operaciones de Mina a Cielo Abierto. 19 de Abril 2012. Disponible en: Recurso web www.ingenieroenminas.com.

[MOUBRAY97] John Moubray. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, 1997.

[AMÉMDOLA06] Luis José Améndola. Gestión de Proyectos de Activos Industriales. Valencia España, Universidad de Valencia, 2006.

[ACUÑA03] Jorge Acuña. Ingeniería de Confiabilidad. Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2013.

[HERRERO11], Pablo Herrero. Las 5 “M” como método para localizar la causa raíz de un problema. Recurso Web, 5 de Marzo de 2011. (Disponible vía web en <http://blog.sage.es/innovacion-tecnologia/las-5-m-como-metodo-para-localizar-la-causa-raiz-de-un-problema/>)

Anexos

Anexo 1.1 Perforación

La operación comienza con la identificación de los sectores que se explotarán en el mes, con ello Ingeniería desarrolla los polígonos de superficie donde se realizarán las mallas de perforación que contempla alcanzar las líneas de programa. Ingeniería diseña las mallas, sin embargo, estas no diferencian entre sectores del Rajo, sino que sólo hacen diferencia entre lo que es mineral con mallas de 2,5 (m) x 2,8 (m) y estéril con mallas de 3 (m) x 3 (m). Estas mallas son entregadas a topografía, quienes en terreno marcan las perforaciones utilizando cal. Para luego comenzar la operación, posicionando la perforadora en cada una de las marcas y perforando hasta llegar a piso de acuerdo a lo indicado por ingeniería o según criterio del operario. El largo de la pasadura es de 1 (m) para todas las mallas.

Los equipos utilizados para realizar la perforación son 2 perforadoras JUNJIN 1300 de origen coreano como se puede observar en la figura 1.4, cada equipo es operado por una cuadrilla de 2 personas, el perforista y su ayudante.

Los diámetros con los cuales se cuenta son 3" y 4", el largo máximo que pueden perforar es 25 m alcanzando en algunos sectores rendimientos de hasta 30 (m/h).

Este tipo de máquinas corresponde a perforadoras rotopercutoras, y se basan en el impacto de una pieza de acero (pistón) a la columna de barras, la que transmite la energía al fondo del barreno, y luego por medio de un elemento final (broca o bit) se aplica a la roca. La rotación se aplica fuera del barreno. Las ventajas de estos equipos es que son utilizables en todo tipo de rocas, su mantenimiento es fácil y rápido, son versátiles pues se adaptan a diferentes trabajos y poseen gran movilidad, factores que para Cerro Negro son imprescindibles para la obtención de resultados finales.



Figura 1.4 Perforadora JUNJIN 1300 N°1

Anexo 1.2 Tronadura

El personal a cargo de estas tareas está totalmente calificado y respeta las regulaciones legales vigentes. Los operarios a cargo de estas tareas están compuestos por un supervisor y tres ayudantes. El horario de tronadura es habitualmente entre las 13:00 pm y las 14:00 pm cuando todo el personal del RML se encuentra en horario de colación.

El procedimiento se inicia con el personal de tronadura midiendo largo de pozos para tener un estimativo de cantidad de explosivos a utilizar. Luego se prepara el amplificador colocando dentro de él un detonador Exel MS (Detonador no eléctrico de retardo).

El conjunto (cebo) se introduce en el pozo de acuerdo al orden de salida que el supervisor diseñe para el disparo. Posterior a esto, se procede a cargar la columna explosiva.

El ANFO utilizado es cargado de manera manual directamente desde los sacos y, utilizando una vara de coligue marcada cada metro, se determina la longitud de carga explosiva para luego rellenar con el material para el taco.

Luego que los pozos están listos se procede al amarre de las filas, momento en el cual el personal procede a delimitar la distancia de seguridad requerida por la tronadura.

Finalmente se enciende la mecha de seguridad, lo cual da 8 (min) de tiempo para salir hacia la zona de seguridad, lugar que se aprecia en la figura 1.4. Después que el explosivo detona, el personal de tronadura concurre al lugar para verificar que no haya tiros quedados y proceder a la entrega del sector.

Figura 1.5 Tronadura



Anexo 1.3 Encuesta Selección de equipos críticos

Encuesta Selección de equipos críticos

Mediante esta encuesta se busca identificar los equipos críticos involucrados en el Proceso Minero, además de determinar los criterios más relevantes para poder enfocar el presente estudio en aquellos equipos vitales para el proceso.

1. Ordene de mayor a menor importancia, valorando de 5 a 1 de manera descendiente los equipos más importantes, hasta los menos importantes en el proceso.

Equipos	Puntuación
Camiones de la operación	
Cargadores frontales	

Equipos de servicio	
Excavadoras	
Perforadoras	

2. De acuerdo a los equipos seleccionados en la sección anterior, valore de mayor a menor importancia de 7 a 1 de manera descendente, los criterios más importantes por los cuales deberían ser seleccionados los equipos críticos del Proceso Minero de la CMCN.

Criterios	Puntuación
Costos asociados a mantención.	
Criticidad de equipos.	
Disponibilidad.	
Número de fallas.	
Tiempo de fallas.	
Tiempo de mantenimiento.	
Tiempo efectivo.	

Anexo 1.4 Encuesta Identificación de causas

Dimensiones	Causas
Maquinaria	
Método	
Mano de Obra	

Materiales	
Medio ambiente	

Anexo 1.5 Encuesta identificación de causas

Encuesta Identificación de causas que generan el problema

Mediante esta encuesta se busca identificar las causas más relevantes que generan el problema que aqueja a los equipos críticos de la CMCN, para poder realizar el diagrama de Ishikawa causa-efecto.

Según su criterio, identifique las causas asociadas a las dimensiones mencionadas en el recuadro que se muestra a continuación, que provocan la indisponibilidad de los equipos críticos involucrados en el Proceso Minero de la CMCN.

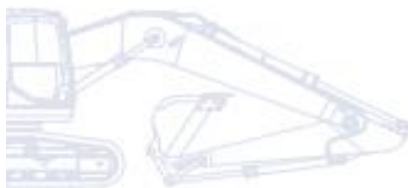
Causas asociadas a la indisponibilidad de equipos	
1.-	
2.-	
3.-	
4.-	
5.-	
6.-	
7.-	

Anexo1.6 Ficha técnica excavadora Komatsu PC800

KOMATSU



Excavadora hidráulica
PC800-8/LC-8



POTENCIA DEL MOTOR
370 kW / 496 HP @ 1.800 rpm

PESO OPERATIVO
PC800-8: 78.800 - 81.700 kg
PC800LC-8: 81.800 - 84.700 kg

CAPACIDAD DEL CAZO
max. 6,91 m³

MOTOR

Modelo	Komatsu SAA6D140E-5
Tipo	Inyección directa de 'common rail', refrigerado por agua, EGR refrigerado, turbocompresor y postenfriado por aire
Potencia del motor	
A las revoluciones del motor	1.800 rpm
ISO 14396	370 kW / 496 HP
ISO 9249 (potencia neta del motor)	363 kW / 487 HP
Nº de cilindros	6
Diámetro x carrera	140 x 165 mm
Cilindrada	15,24 l
Accionamiento del ventilador	Hidráulico

SISTEMA HIDRÁULICO

Tipo	CLSS (Sensor de carga de centro abierto)
Circuitos adicionales	Función hidráulica adicional (preparación), doble acción solamente
Número de modos de trabajo disponibles	2
Bomba principal	Bomba de pistones de caudal variable
Bombas para	Circuitos de pluma, brazo, carro, giro y desplazamiento
Máximo caudal de la bomba	2 x 494 l/min
Bomba de transmisión del ventilador	Bomba de pistones de caudal variable
Motones hidráulicos:	
Desplazamiento	2 x motor de pistones axiales con freno de estacionamiento
Giro	2 x motor de pistones axiales con bloqueo de giro
Tara de las válvulas de descarga	
Circuito de implementos	320 bar
Circuito de desplazamiento	350 bar
Circuito de giro	390 bar
Circuito de elevación pesada	350 bar
Circuito piloto	30 bar

CAPACIDADES DE LLENADO

Depósito de combustible	980 l
Radiador	100 l
Axilla motor	53 l
Sistema de giro	2 x 24,5 l
Depósito hidráulico	470 l
Mandos finales (cada lado)	20 l
Depósito PTO	6 l

PESO OPERATIVO (VALORES APROXIMADOS)

Equipo de trabajo	PC800-8				PC800LC-8			
	Pluma de 7,1 m / base de 2,8 m / caso de 4,0 m³ (54)		Pluma de 8,0 m / base de 3,6 m / caso de 3,4 m³ (54)		Pluma de 7,1 m / base de 2,8 m / caso de 4,0 m³ (54)		Pluma de 8,0 m / base de 3,6 m / caso de 3,4 m³ (54)	
Anchura de teja doble gara	Peso operativo	Presión sobre suelo	Peso operativo	Presión sobre suelo	Peso operativo	Presión sobre suelo	Peso operativo	Presión sobre suelo
610 mm	78.800 kg	1,20 kg/cm²	79.700 kg	1,21 kg/cm²	-	-	-	-
710 mm	79.500 kg	1,12 kg/cm²	80.400 kg	1,14 kg/cm²	81.800 kg	1,04 kg/cm²	81.900 kg	1,05 kg/cm²
810 mm	80.200 kg	0,99 kg/cm²	81.100 kg	1,00 kg/cm²	81.700 kg	0,92 kg/cm²	82.600 kg	0,93 kg/cm²
910 mm	80.900 kg	0,89 kg/cm²	81.800 kg	0,90 kg/cm²	82.400 kg	0,82 kg/cm²	83.300 kg	0,83 kg/cm²
1.010 mm	-	-	-	-	83.100 kg	0,75 kg/cm²	84.000 kg	0,76 kg/cm²
1.110 mm	-	-	-	-	83.800 kg	0,69 kg/cm²	84.700 kg	0,69 kg/cm²

SISTEMA DE GIRO

Tipo de accionamiento	Motones hidráulicos
Reducción de giro	Reducción planetaria
Lubricación de corona de giro	Baño de grasa
Bloqueo de giro	Freno de disco en aceite
Velocidad de giro	6,8 rpm

TRANSMISIONES Y FRENOS

Control de la dirección	Dos palancas y pedales
Tipo de transmisión	Hidrostática
Motor de desplazamiento	Motones de pistones axiales, integrados en los carros
Sistema de reducción	Reducción planetaria doble
Fuerza de tracción máxima	57.000 kg
Pendiente máxima superable	70%
Velocidades de desplazamiento	
Lo / Hi	2,8 / 4,2 km/h
Freno de servicio	Bloqueo hidráulico
Freno de estacionamiento	Frenos de disco en baño de aceite

TREN DE RODAJE

Construcción	Sección central del bastidor en H con bastidores de arugas en sección de caja
Conjunto de arugas	
Tipo	Totalmente sellado
Tejas (cada lado)	47 (PC800LC-8: 51)
Tensión	Hidráulica
Rodillos	
Rodillos de rodadura (cada lado)	8 (PC800LC-8: 9)
Rodillos superiores (cada lado)	3

MEDIO AMBIENTE

Emisiones del motor	Cumple totalmente las normas sobre emisión EU Stage IIIA
Niveles de ruido	
L _{WA} ruido externo	108 dB(A) (2000/14/EC Stage 2)
L _{PA} ruido interior	73 dB(A) (ISO 6396 medición dinámica)
Niveles de vibración (EN 12096:1997)*	
Mano/brazo	< 2,5 m/s² (incertidumbre K = 0,20 m/s²)
Cuerpo	< 0,5 m/s² (incertidumbre K = 0,04 m/s²)

* para el propósito de evaluación de riesgo conforme a la directiva 2002/44/EC, remítase a ISO/TR 25398:2006.

Anexo 1.7 Ficha técnica perforadora Junjin 1300 N°1

JUNJIN CSM Surface Drill Rig
SD-1000E



Ideal Mechanism and Powerful

Hole Range 75mm ~ 115mm(3" ~ 4½")

 **JUNJINCSM**

TECHNICAL DATA SD-1000E WITH JET-8(JUNJIN)

Specification	SD-1000E(JET-8)	
	Metric	US
General Specification		
Weight(inkl. Optional equipment)	12,000kg	26,400 lbs
Overall Width	2490mm	8' 2"
Overall Length	8900mm	29' 2"
Overall Height	2860mm	9' 4"
Performance		
Hole Range	65 - 102mm	2 1/2" - 4"
Drilling Depth	15m(T38) 18m(T45)	49(T38) 59(T45)
Gradeability	30°	
Tramming Speed, Max	0 - 3.8km/hr	0 - 2.4mph
Engine		
Model	6RTAA5.9(CUMMINS)	
Rating Output at 2200rpm	125kw	169hp
Emission control level	Stage II	Tier II
Air Compressor		
Model	PDS175(ARMAN)	
Working Pressure, max.	10.5bar	152 psi
Free Air Delivery	82 l/s(5.0m ³ /min)	175 cfm
Tank Capacity	0.033 m ³	
Drifter		
Model	JET-8(JUNJIN)	
Impact Power, Max.	19kw	25hp
Rotation	Max 190rpm	
Torque	862Nm	636lb.ft
Fuel Tank		
Capacity	250L	66 US gal.
Booms		
Type	Single	
Extension	1100mm	3' 7"
Overall Length	2840mm	9' 4"
Lift Angle	Up : 50° / Down : 15°	
Swing Angle	L : 10° / R : 35°	
Guide Sheet		
Overall Length	7240mm	23' 9"
Slide Length	1500mm	4' 9"
Feed Length	4300mm	14' 1"
Swing Angle	L : 65° / R : 50°	
Tilt Angle	180°	
Tramming		
Traction Force	54kN	12129lbf
Length of Tumbler	2480mm	8' 2"
Shoe Width	340mm	1'
Ground Clearance	540mm	1'8"

Standard equipment

- Rops & Fops Cabin
- Auto Rod Changer(3,660mm x 5 rods)
- Extension Boom
- Track Oscillation(±11°)
- Dust Collector with 4 filters
- Air Pre Cleaner for Engine
- Air Pre Cleaner for Compressor
- Pre Cleaner for Dust Collector(cyclone)
- Sliding and Side Opening Type Dust Hood
- Anti Jamming System
- Collaring System
- Cabin Heating & Air Conditioning System
- Safety shutdown device on (compressor, engine)
- Thread greasing device, touch type
- Rock Drill Hour-Meter
- Percussion Pressure Control
- Low level indicator for fuel
- Level Gauge of Fuel and Hydraulic Oil
- N2 Gas charging equipment (for drifter)
- Standard tool kit
- Back Mirror
- Work Lights
- Back Up Alarm
- Warning Horn

Optional equipment

- Engine Pre-heating device
- Rear Bumper
- Fuel Injection Pump
- Digital Angle Indicator
- Water Flushing System
- Hydraulic Oil(Fuel) Charging Hand Pump

Anexo 3.1 Hojas de Información RCM II

Hoja de Información Sistema Hidráulico excavadora Komatsu PC 800

Hoja de información RCM II		Sistema: Hidráulico excavadora PC800			
Función		Subsistema: Bomba			
Función		Falla Funcional	Modo de falla	Efecto de la falla	
Proveer presión al sistema hidráulico para el buen funcionamiento del brazo, pluma y balde.	A	Problemas de accionamiento del brazo	1	Brazo inmóvil.	El brazo no se mueve o se desplaza con lentitud, por lo que el equipo es incapaz de realizar las funciones para las que ha sido diseñado, viéndose interrumpida la operación.
			2	Pérdida de fuerza.	El equipo no trabaja a total capacidad, debido a la fuga de aceite por rotura de sellos por lo que se genera un desgaste de la estructura del brazo, pluma y balde. De no detectarse a tiempo esta falla puede generar el fundimiento del motor, de lo contrario esta falla involucra cambio de sellos y revisión del sistema hidráulico.
			3	Resorte de control de presión averiado, impidiendo el buen funcionamiento de la válvula reductora.	Provoca movimientos no deseados del brazo y desplazamiento con lentitud del equipo, impidiendo excavar con normalidad provocando un retraso en la producción.
			4	Carencia de rotación.	Impide realizar tareas en las que se involucra la de rotación del brazo para la carga de material, por lo que la producción se ve afectada. Esta falla involucra el cambio de piezas averiadas.
1	B	Bomba detenida	1	Motor detenido.	Impide el funcionamiento de la bomba, por lo tanto, no es posible accionar movimientos del brazo y la pluma del equipo. Esto implica la revisión del sistema eléctrico.
			2	Baja presión en el sistema, debido a que la válvula de retención no cierra herméticamente.	Sobreesfuerzo de la bomba para impulsar el fluido hidráulico, lo que conlleva al desgaste de la bomba y al mal funcionamiento del equipo.
			3	Rotor trabado.	Genera una sobre corriente en la línea, impidiendo accionar la bomba o apagándola si esta se encuentra en funcionamiento. Por lo que la operación del equipo se ve interrumpida, debiendo salir de la zona de trabajo para ser asistido.

Hoja de Información Sistema Eléctrico excavadora Komatsu PC 800

Hoja de información RCM II		Sistema: Eléctrico excavadora PC800	
Función		Subsistema: Motor	
Función	Falla Funcional	Modo de falla	Efecto de la falla
1 Provee al equipo de torque y desplazamiento.	A El motor no funciona o funciona con ruido extraño.	1 Falla en el sistema eléctrico.	Afecta el funcionamiento del motor ya que el flujo de energía no logra accionar los mecanismos del sistema, impidiendo el desplazamiento del equipo. Ante esta falla por lo general se chequean indicadores básicos y se reemplazan en caso de ser necesarios, además de realizar cambio de aceite y filtros del motor.
		2 Batería mala.	Impide el funcionamiento del motor; por ende, el funcionamiento del equipo, ya que la batería es la fuente de energía que se transmite a los demás componentes del sistema. En este caso se debe inspeccionar el estado de la batería para cargarla o realizar su cambio en caso que sea necesario.
		3 Condiciones ambientales.	La presencia de polvo y humedad en el ambiente son las causantes de que el motor del equipo funcione con ruido extraño provocando un bajo rendimiento de éste. La acumulación de estos factores puede tapar los filtros del motor y terminar por fundirlo.
	B Calentamiento del motor, indicador de aceite en alerta.	1 Fuga de aceite.	El calentamiento del motor implica el calentamiento del sistema provocando rotura de sellos y mangueras, el aceite se quema y el sistema no funciona. Por lo tanto, en este caso se deben revisar y reparar las válvulas que se encuentran dañadas, cambiar el refrigerante, verificar la tensión de las correas de ventilación y sustituir el sensor de temperatura de agua cuando sea necesario.
		2 Exceso de aire en el cárter.	
		1 Desgaste del motor.	
	C Calentamiento del motor, indicador de temperatura en zona roja.	2 Sensor de nivel de agua defectuoso.	El calentamiento del motor implica el calentamiento del sistema provocando rotura de sellos y mangueras, el aceite se quema y el sistema no funciona. Por lo tanto, en este caso se deben revisar y reparar las válvulas que se encuentran dañadas, cambiar el refrigerante, verificar la tensión de las correas de ventilación y sustituir el sensor de temperatura de agua cuando sea necesario.
		3 Suciedad u óxido acumulado en el sistema de refrigeración.	
		1 Batería deteriorada.	
	2 Provee la energía necesaria el funcionamiento eléctrico y carga del equipo.	A Luces no brillan e indicadores luminosos parpadean cuando el motor está en marcha.	1 Batería deteriorada.
2 Ajuste defectuoso de la tensión de correa de transmisión.			

Hoja de Información Sistema Estructural excavadora Komatsu PC 800

Hoja de información RCM II		Sistema: Estructural excavadora PC800			
		Subsistema: Cazo o balde			
Función	Falla Funcional	Modo de falla		Efecto de la falla	
1 Excavación y carguio de material.	A Fisura del balde.	1	Mala operación del equipo.	Provoca una carga deficiente del material, esta falla se produce cuando el operador aplica más fuerza de la que el equipo necesita o bien, cuando se sobrepasa la capacidad de carga del balde.	
		2	Tronadura deficiente.		
	B Desgaste de elementos cortantes.	1	Mala operación del equipo.		Impide el correcto funcionamiento del equipo, ya que la carga y descarga de material no es eficiente. En este caso el balde pierde la fuerza de agarre debido al desgaste de los dientes, es por esto que como medida inmediata se deben reemplazar los dientes dañados.
C Desgaste de bujes y pasadores.	1	Falta de lubricación.	El desgaste de estas piezas impide el posicionamiento del soporte de carga quitándole estabilidad al balde e impidiendo el correcto funcionamiento del equipo.		

Hoja de Información Sistema Hidráulico perforadora Junjin

Hoja de información RCM II		Sistema: Hidráulico perforadora Junjin				
Función		Subsistema: Motor de rotación				
Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de la falla		
1	Suministrar movimiento de empuje y generar movimientos de rotación.	A	El motor no enciende	1	Batería deteriorada.	Impide el funcionamiento de la perforadora retrasando las operaciones unitarias básicas que desarrolla la Compañía afectando la producción, por lo que se debe cargar o realizar el cambio de batería en caso que sea necesario.
				2	Falla en el sistema eléctrico	
2	Proporcionar energía para el accionamiento de la bomba principal.	A	Calentamiento del motor	1	Fuga de aceite	El calentamiento del motor implica el calentamiento del sistema provocando rotura de sellos y mangueras, el aceite se quema y el sistema no funciona. Por lo tanto, en este caso se deben revisar y reparar las válvulas que se encuentran dañadas, cambiar el refrigerante, verificar la tensión de las correas de ventilación y sustituir el sensor de temperatura de agua cuando sea necesario.
				2	Desgaste del motor	

Hoja de Información Sistema Mecánico perforadora Junjin

Hoja de información RCM II		Sistema: Mecánico perforadora Junjin			
Función		Subsistema: Compresor			
Falla Funcional		Modo de falla			
Efecto de la falla					
1	Evacuar el detrito y aumentar la potencia de percusión.	A El motor no enciende	1	Batería deteriorada.	Impide el funcionamiento de la perforadora retrasando las operaciones unitarias básicas que desarrolla la Compañía afectando la producción, por lo que se debe cargar o realizar el cambio de batería en caso que sea necesario.
			2	Falla en el sistema eléctrico.	
2	Aumentar la presión y desplazar el fluido por el sistema.	A Calentamiento del motor	1	Fuga de aceite.	El calentamiento del motor implica el calentamiento del sistema provocando rotura de sellos y mangueras, el aceite se quema y el sistema no funciona. Por lo tanto, en este caso se deben revisar y reparar las válvulas que se encuentran dañadas, cambiar el refrigerante, verificar la tensión de las correas de ventilación y sustituir el sensor de temperatura de agua cuando sea necesario.
			2	Desgaste del motor.	
		B Obstrucción por mal estado de filtros de polvo	1	Retorno del líquido.	La pérdida de potencia impide que la bomba funcione con normalidad, provocando una perforación deficiente.
			2	Pérdida de potencia.	Genera la rotura de sellos y mangueras, disminuyendo el rendimiento del equipo provocando una perforación deficiente. Por esta razón se debe inspeccionar, reparar ó cambiar las piezas en caso de ser necesario.
			3	Calentamiento del motor.	

Hoja de Información Sistema Retopercutor perforadora Junjin

Hoja de información RCM II		Sistema: Retopercutor perforadora Junjin		
		Subsistema: Martillo-Broca		
Función	Falla Funcional	Modo de falla		Efecto de la falla
1 Entregar fuerza de impacto para romper la superficie.	A Rotura prematura	1	Falta de lubricación.	La falta de lubricación de piezas móviles genera un aumento en la temperatura del martillo, provocando grietas en el pistón.
		2	Corrosión.	Genera deterioro del martillo debido a las condiciones ambientales, ambiente húmedo en las noches y altas temperaturas durante el día sumado a la presencia de polvo y ácidos en el ambiente.
		3	Contaminación.	Provoca la rotura prematura del martillo, ya que residuos metálicos y principalmente el óxido dañan la superficie del martillo generando fatiga de material.
2 Corte y trituración de la roca.	B Desgaste de broca	1	Rocas con alta dureza.	Ciertos sectores del RML presentan una densidad mayor de superficie, generando un mayor desgaste de la broca.
		2	Alto impacto sobre la roca.	El operador aplica más fuerza para acelerar la etapa de perforación, generando el desgaste de la roca.

Anexo 3.2 Hojas de Decisión RCM II

Hoja de Decisión Sistema Hidráulico excavadora Komatsu PC 800

Hoja de Decisión RCM II		Sistema: Hidráulico excavadora PC800										Sistema N°:	Facilitador:			
		Subsistema: Bomba										Subsistema N°:	Auditor:	A realizarse por		
Referencia de información	Evaluación de las consecuencias					H1	H2	H3	Acción a falta de				Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por	
	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5				S4
1	A	1	S	N	N	S	N	S						Lubricar piezas móviles de la estructura del brazo.	Mensual	Mecánico
1	A	2	S	N	N	S	S							Inspección visual por desgaste de sellos.	Mensual	Mecánico
1	A	3	S	N	N	S	N	N	S					Sustitución de resorte regulador de presión.	Mensual	Mecánico
1	A	4	S	N	N	S	N	N	S					Sustitución de resorte regulador de presión.	Cada 6 meses	Mecánico
1	B	1	S	N	N	S	S							Revisar el estado del motor.	Cada 3 meses	Mecánico
1	B	2	S	N	N	S	S							Verificar funcionamiento de impulsión y succión de la bomba.	Cada 3 meses	Mecánico
1	B	3	S	N	N	S	S							Revisar estado del motor.	Cada 3 meses	Mecánico

Hoja de Decisión Sistema Eléctrico excavadora Komatsu PC 800

Hoja de Decisión		Sistema: Eléctrico excavadora PC800										Sistema N°:	Facilitador:			
		Subsistema: Motor										Subsistema N°:	Auditor:			
Referencia de información	Evaluación de las consecuencias					H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a falta de				Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por	
	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5				S4
1	A	1	S	N	N	S	S							Inspeccionar indicadores básicos.	Cada 3 meses	Mecánico
1	A	2	S	N	N	S	S							Verificar el estado de la batería.	Cada 6 meses	Mecánico
1	A	3	S	N	S	N	S							Inspección visual de filtros.	Mensual	Mecánico
1	B	1	S	N	N	S	N	S						Lubricación y reparación de sellos y mangueras.	Cada 3 meses	Mecánico
1	B	2	S	N	N	S	S							Verificar tensión de correa de transmisión del alternador.	Cada 6 meses	Mecánico
1	C	1	N	N	N	N	S							Inspección de sellos y mangueras.	Cada 6 meses	Mecánico
1	C	2	S	N	N	S	S							Inspección sensor de temperatura.	Cada 6 meses	Mecánico
1	C	3	S	N	N	S	N	S						Cambio de refrigerante.	Cada 6 meses	Mecánico

Hoja de Decisión Sistema Estructural excavadora Komatsu PC 800

Hoja de Decisión		Sistema: Estructural excavadora PC800										Facilitador:					
		Subsistema: Cazo o balde										Auditor:					
Referencia de información	Evaluación de las consecuencias					H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por			
	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4				H5	S4	
1	A	1	S	N	N	S	S								Realizar capacitaciones y evaluar a los operarios.	1 vez al año	Dpto. operaciones
1	A	2	S	N	N	S	S								Inspeccionar la calidad de tronadura	Cada vez que haya tronadura	Jefe de turno
1	B	1	S	N	N	S	S								Realizar capacitaciones y evaluar a los operarios.	1 vez al año	Dpto. operaciones
1	C	1	N					S							Lubricación de bujes y pasadores	Cada 3 meses	Mecánico

Hoja de Decisión Sistema Hidráulico perforadora Junjin

Hoja de Decisión		Sistema: Hidráulico perforadora Junjin										Sistema N°:	Facilitador:			
		Subsistema: Motor de rotación										Subsistema N°:	Auditor:	A		
Referencia de información	Evaluación de las consecuencias					H1	H2	H3	Acción a falta de				Intervalo inicial	A realizarse por		
	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	S							Inspeccionar el estado de la batería.	Cada 6 meses	Mecánico
1	A	2	S	N	N	S	S							Inspeccionar indicadores básicos.	Cada 3 meses	Mecánico
2	A	1	S	N	N	S		S						Lubricación de sellos y mangueras.	Cada 3 meses	Mecánico
2	A	2	S	N	N	S	S							Inspección de sellos y mangueras.	Cada 6 meses	Mecánico

Hoja de Decisión Sistema Mecánico perforadora Junjin

Hoja de Decisión		Sistema: Mecánico perforadora Junjin										Sistema N°:	Facilitador:			
		Subsistema: Compresor										Subsistema N°:	Auditor:			
Referencia de información	Evaluación de las consecuencias					H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Acción a falta de				Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por	
	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	S							Inspeccionar estado de la batería.	Cada 6 meses	Mecánico
1	A	2	S	N	N	S	S							Inspección de sellos y mangueras	Cada 3 meses	Mecánico
2	A	1	S	N	N	S		S						Cambio de filtros y sellos	Cada 6 meses	Mecánico
2	A	2	S	N	N	S	S							Inspeccionar estado de la batería.	Cada 6 meses	Mecánico
2	B	1	S	N	N	S		S						Lubricación de piezas móviles.	Cada 3 meses	Mecánico
2	B	2	S	N	N	S		S						Cambio de filtros y sellos	Cada 6 meses	Mecánico
2	B	3	S	N	N	S		S						Cambio de válvulas y mangueras	1 vez al año	Mecánico

Hoja de Decisión Sistema Retopercutor perforadora Junjin

Hoja de Decisión		Sistema: Retopercutor perforadora Junjin										Sistema N°:	Facilitador:			
		Subsistema: Martillo-balde										Subsistema N°:	Auditor:	A realizarse por		
Referencia de información	Evaluación de las consecuencias					H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Acción a falta de				Tarea Propuesta	Intervalo inicial	Dpto. de operaciones	
	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5				S4
1	A	1	S	N	N	S	N	S						Lubricación de piezas móviles.	Cada 3 meses	Mecánico
1	A	2	S	N	N	S	N	N						Ningún mantenimiento programado. Cambio de broca.		Mecánico
1	A	3	S	N	N	S	N	N						Ningún mantenimiento programado. Cambio de broca.		Mecánico
2	A	1	S	N	N	S	N	N						Ningún mantenimiento programado. Cambio de broca.		Mecánico
2	A	2	S	N	N	S	N	N						Ningún mantenimiento programado. Realizar un protocolo de perforación.		Dpto. de operaciones

Anexo 3.3 Procedimientos Operativos Estándar

Procedimiento Operativo Estándar excavadora Komatsu PC 800

Procedimiento Operativo Estándar	
Sistema:	Excavadora Komatsu PC800
Responsable:	Jefe de mantención y mecánicos
Frecuencia:	Mensual
Cambio de filtros.	
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.	
2.- Delimitar la zona a intervenir.	
3.- Desenroscar el filtro y desecharlo en el contenedor de desechos tóxicos.	
4.-Instalar el nuevo filtro, enroscándolo en sentido de las manecillas del reloj.	
5.- Restablecer el suministro eléctrico.	
6.- Verificar que el filtro haya quedado instalado herméticamente.	
Sustitución resorte regulador de presión.	
El sistema hidráulico permanece siempre bajo presión interna. Por lo tanto, libere la presión al interior del circuito antes de inspeccionar o sustituir elementos del sistema. Si la presión no se libera, el aceite saldrá a chorro, pudiendo provocar daños personales graves.	
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.	
2.- Delimitar la zona a intervenir.	
3.- Accionar palancas de control hasta el fin de su recorrido.	
4.- Extraer la tapa del depósito hidráulico.	
5.- Sustituir resorte regulador y tapar el depósito hidráulico.	
6.- Hacer funcionar el motor a no más de 1.000 rpm durante no más de un minuto.	
7.- Situar las palancas de control del equipo en la posición HOLD.	

Procedimiento Operativo Estándar	
Sistema:	Excavadora Komatsu PC800
Responsable:	Jefe de mantenimiento y mecánicos
Frecuencia:	Trimestral
Inspección desgaste de sellos.	
1.- Detener el suministro eléctrico del equipo.	
2.- Delimitar la zona a intervenir.	
3.- Realizar una inspección visual de los componentes del sistema.	
4.- Revisar el estado de aislación de sellos. En caso de observar alguna anomalía e la hermeticidad de los sellos, dar aviso al encargado del taller para su reparación o verificación de componentes.	
En caso de fuga del fluido hidráulico, realizar pruebas de fuga para asegurar el buen funcionamiento del sistema.	
Lubricación de piezas móviles, bujes y pasadores	
1.- Situar el equipo en posición de engrase y hacer descender el brazo hasta el suelo.	
2.- Detener el suministro eléctrico del equipo.	
3.- Delimitar la zona a intervenir.	
4.-Mediante el uso de una bomba engrasadora, engrasar:	
a) Pasador de la parte inferior del cilindro de la pluma.	
b) Pasador de la parte inferior de la pluma.	
c) Pasador de la parte inferior del cilindro del brazo.	
d) Pasador de unión pluma-brazo.	
e) Pasador del vástago del cilindro del brazo.	
f) Pasador de unión brazo-articulación.	
g) Pasador de unión brazo-cazo.	
h) Pasador de unión cazo articulación.	
4.- Una vez engrasado cada pasador, limpiar la zona de residuos de grasa vieja que haya salido producto de la lubricación.	
Inspección del motor.	
1.- Detener el suministro eléctrico del equipo.	
2.- Inspección de la tensión de la cadena de transmisión	
3.- Delimitar la zona de trabajo.	
4.-Realizar chequeo de conexión de alimentación eléctrica.	
5.- Revisar estado del transformador.	
6.- Medir voltaje y corriente del motor.	

7.- Verificar estado y tensión de la cadena de transmisión.

Procedimiento Operativo Estándar	
Sistema:	Excavadora Komatsu PC800
Responsable:	Jefe de mantención y mecánicos
Frecuencia:	Semestral
Ajuste de la tensión de la correa de transmisión del alternador.	
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.	
2.- Delimitar la zona a intervenir.	
3.- Aflojar los pernos y tuercas, y mover el alternador.	
4.- Ajustar la tensión de la correa de transmisión apretando la tuerca n°6 del equipo.	
5.- Verificar cada polea por si estuviera dañada y verificar el desgaste de la polea trapezoidal.	
6.- Si en especial la polea trapezoidal se encuentra alargada, no se puede ajustar ó se encuentra cortada se debe sustituir.	
7.- Una vez sustituida la polea trapezoidal, ajustarla nuevamente tras 1 hora de funcionamiento del equipo.	
Cambio de líquido refrigerante.	
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.	
2.- Delimitar la zona a intervenir.	
3.- Girar la tapa del radiador lentamente hasta retirarla.	
4.- Colocar un recipiente debajo de la válvula de descarga la cual se encuentra en la parte inferior del radiador y abrirla para drenar el líquido de refrigeración.	
5.- Una vez drenado el líquido cerrar la válvula, llenar con líquido refrigerante hasta la parte superior del radiador.	
6.- Para desairear el sistema de refrigeración hacer funcionar el motor a una velocidad alta durante 5 minutos.	
7.- Para finalizar colocar la tapa del radiador y apretar.	
Cambio de filtros de combustible.	
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.	
2.- Delimitar la zona a intervenir.	

3.- Poner bandejas debajo del filtro de combustible para evitar derrames.
4.- Girar el filtro de combustible y retirarlo.
5.- Limpiar la base del filtro y llenar el nuevo filtro con ACPM limpio. A continuación, instalar el nuevo filtro en la base del motor.
6.- Durante la instalación, conectar la superficie de sellado con el empaque del filtro de bloque y ajustar.
7.- Luego de reemplazar el elemento del filtro combustible, quitar el aire del sistema de acuerdo a los siguientes pasos:
a) Llenar el tanque de combustible en su totalidad.
b) Después de reemplazar el filtro, afloje el tornillo de fijación.
c) Soltar el botón de la transferencia de la bomba de inyección.
d) Apretar el tornillo de cierre y arrancar el motor para comprobar si la superficie de sellado presenta fugas.

Procedimiento Operativo Estándar perforadora Junjin

Procedimiento Operativo Estándar	
Sistema:	Perforadora Junjin n°2
Responsable:	Jefe de mantención y mecánicos
Frecuencia:	Trimestral
El sistema hidráulico permanece siempre bajo presión interna. Por lo tanto, libere la presión al interior del circuito antes de inspeccionar o sustituir elementos del sistema. Si la presión no se libera, el aceite saldrá a chorro, pudiendo provocar daños personales graves.	
Inspección del compresor.	
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.	
2.- Delimitar la zona a intervenir.	
3.- Verificar que el equipo no se encuentre sobrecalentado.	
4.- Realizar inspección visual del estado del cableado.	
5.- Si se encuentran cables cortados se debe realizar el cambio de éstos.	
6.- Realizar limpieza a los cables que presenten suciedad.	
7.- Verificar el estado y cantidad de refrigerante.	
8.- Verificar el estado de los captadores de polvo del compresor.	

9.- Controlar el nivel de aceite que mantiene al equipo.
10.- Reestablecer el suministro eléctrico.
Limpieza filtro de aspiración de polvo del compresor.
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.
2.- Delimitar la zona a intervenir.
3.- Retirar el filtro aspirador de polvo ubicado en el compresor.
4.- Con una pistola de soplado, soplar el filtro para retirar el polvo acumulado.
5.- En caso que el filtro esté averiado debe ser sustituido.
6.- Una vez instalado el filtro hacer funcionar el equipo, nunca utilizar el compresor sin el filtro aspirador de polvo instalado.
Cambio de aceite.
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.
2.- Delimitar la zona a intervenir.
3.- Poner bandejas debajo del filtro de combustible para evitar derrames.
4.- Extraer varilla de medición de aceite.
5.- Enroscar el tornillo de purga de aceite.
6.- Extraer todo el aceite y eliminarlo de forma ecológica según procedimientos internos.
7.- Realizar el llenado de aceite hasta el tope, evitar realizar un llenado excesivo de aceite.
8.- Reestablecer el suministro eléctrico para verificar que no haya fuga de aceite.

Procedimiento Operativo Estándar	
Sistema:	Perforadora Junjin n°2
Responsable:	Jefe de mantención y mecánicos
Frecuencia:	Semestral
Cambio de filtros de combustible.	

1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.
2.- Delimitar la zona a intervenir.
3.- Poner bandejas debajo del filtro de combustible para evitar derrames.
4.- Girar el filtro de combustible y retirarlo.
5.- Limpiar la base del filtro y llenar el nuevo filtro con ACPM limpio. A continuación, instalar el nuevo filtro en la base del motor.
6.- Durante la instalación, conectar la superficie de sellado con el empaque del filtro de bloque y ajustar.
7.- Luego de reemplazar el elemento del filtro combustible, quitar el aire del sistema de acuerdo a los siguientes pasos:
a) Llenar el tanque de combustible en su totalidad.
b) Después de reemplazar el filtro, afloje el tornillo de fijación.
c) Soltar el botón de la transferencia de la bomba de inyección.
d) Apretar el tornillo de cierre y arrancar el motor para comprobar si la superficie de sellado presenta fugas.
Cambio de válvula.
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.
2.- Delimitar la zona a intervenir.
3.- Verificar que la válvula se encuentre cerrada antes de retirarla.
4.- Instalar nueva válvula según las especificaciones realizadas por el fabricante.
5.- Reestablecer el suministro eléctrico para verificar el estado de la nueva válvula.
Inspección de la unidad rotatoria.
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.
2.- Delimitar la zona a intervenir.
3.- Verificar el estado de las bombas que suministran el caudal de aceite que acciona los movimientos de rotación.
4.- Inspeccionar el estado de las válvulas reguladoras de presión y se procede a su sustitución.
5.- Revisar el estado del pistón que propaga la energía a través de las barras de perforación.
6.- Verificar el estado de las brocas de perforación, dependiendo del grado de desgaste deberán ser reemplazadas a criterio del mecánico a cargo de la inspección.

Anexo 3.4 Detalle de costos

Según protocolos del departamento de mantención de equipos mina de la CMCN, para el cálculo de costos de mantenimiento se define el valor por hora de mantenimiento preventivo al mes, el cual es calculado en forma lineal para los 365 días del año considerando 483 horas mensuales de operación. En el caso de reparaciones mayores para el año 2015 ocurrieron 3 eventos de esta naturaleza, es por esto que se considera el valor fijo para las 483 horas mensuales multiplicadas por cada evento ocurrido. A continuación, se presenta el detalle de costos por hora y los costos totales para el año 2015.

Presupuesto por hora mantenciones año 2015			
Equipo	Mantenciones preventivas	Mantenciones correctivas	Reparaciones mayores
Excavadora PC 800	\$ 2.826	\$ 2.053	\$ 9.750
Perforadora Junjin	\$ 1.814	\$ 1.825	\$ 3.500

Costos mantenciones año 2015			
Equipo	Mantenciones preventivas	Mantenciones correctivas y rep. Mayores	Costo total
Excavadora PC 800	\$ 16.379.496	\$ 26.026.938	\$ 42.406.434
Perforadora Junjin	\$ 10.513.944	\$ 15.649.200	\$ 26.163.144

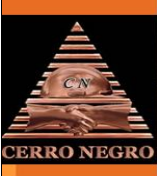
Los costos de mantenimiento correctivo tras la implementación del Plan de Mantenimiento Preventivo propuesto para la excavadora Komatsu PC 800 y la perforadora Junjin se detallan a continuación:

Mantenimiento correctivo y reparaciones mayores excavadora PC 800	
Bomba inyectora	\$ 3.600.000
Válvula	\$ 2.100.000
Repuestos varios	\$ 2.500.000
Climatizador Bepo	\$ 320.000

Botella hidráulica	\$ 1.800.000
Materiales eléctricos y repuestos	\$ 600.000
Total	\$ 10.920.000

Mantenimiento correctivo y reparaciones mayores perforadora Junjin	
Set de brocas	\$ 2.125.000
Válvula distribuidora	\$ 2.100.000
Resorte regulador de presión	\$ 600.000
Repuestos sistema eléctrico	\$ 1.380.000
Total	\$ 6.205.000

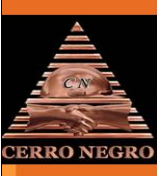
Anexo 3.5 Propuesta Plan de Mantenimiento CMCN

	Plan de Mantenimiento Preventivo	Revisión:00
		Fecha: 15/12/2016
	Procedimiento Operativo Estándar Equipos críticos	Vigencia: 15/12/2017
		Página 1 de 13

Plan de Mantenimiento Preventivo

Procedimiento Operativo Estándar (POE).
Equipos críticos de las áreas de Perforación y Carguío
Departamento de Mantención CMCN.


Preparado por	Revisor por	Aprobado por	En revisión
			Versión 00
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:

	Plan de Mantenimiento Preventivo	Revisión:00
		Fecha: 15/12/2016
	Procedimiento Operativo Estándar Equipos críticos	Vigencia: 15/12/2017
		Página 2 de 13

Índice.

1.Objetivo.....	143
2.Alcance.....	143
3.Definiciones.....	143
4.Responsabilidades.....	145
5.Planificación del mantenimiento.....	145
6.Actividades del mantenimiento preventivo.....	146

Preparado por	Revisor por	Aprobado por	En revisión
			Versión 00
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:

	Plan de Mantenimiento Preventivo	Revisión:00
		Fecha: 15/12/2016
		Vigencia: 15/12/2017
	Procedimiento Operativo Estándar Equipos críticos	Página 3 de 13

Objetivo

Establecer un plan de mantenimiento preventivo programado para los equipos críticos de las áreas de Perforación y Carguío de la CMCN, con el objeto de asegurar la disponibilidad de ellos dentro de los procesos productivos que realizan.

Alcance

El plan de mantenimiento preventivo será aplicado a la excavadora Komatsu PC800 y a la perforadora Junjin 1300, ambos equipos críticos de las áreas de Carguío y Perforación respectivamente.

Definiciones

Mantenimiento preventivo: Serie de actividades destinadas a inspección, monitorea, sustitución o reacondicionamiento de componentes con potenciales síntomas de fallas.

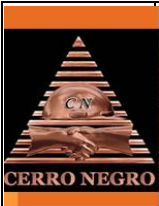
Excavadora hidráulica Komatsu PC800: Este equipo tiene como función la excavación y carguío de mineral y estéril. Este equipo cuenta con tres partes principales:

Unidad de propulsión: conocida también como oruga, permite el desplazamiento hacia la zona de trabajo y sirve de base para la estructura superior.

Unidad giratoria: esta parte de la excavadora incluye una cabina giratoria y todo el sistema de control (motores, sistema hidráulico, sistema eléctrico, entre otros.).

Estructura manipuladora: este equipo cuenta con una estructura de manipulación compuesta por la pluma, el brazo y el balde. A través de unos cilindros hidráulicos, el operador desde la cabina puede manipular cada parte del brazo de la excavadora para hacer movimientos más precisos, el brazo es el elemento excavador

Preparado por	Revisor por	Aprobado por	En revisión
			Versión 00
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:

	<h2>Plan de Mantenimiento Preventivo</h2>	Revisión:00
		Fecha: 15/12/2016
		Vigencia: 15/12/2017
	Procedimiento Operativo Estándar Equipos críticos	Página 4 de 13

que se articula a la parte superior de la pluma, y en la parte inferior va unido al balde, el cual tiene una capacidad máxima de 6.9 m³.

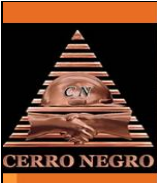
Perforadora Junjin 1300: Esta máquina es una perforadora rotopercutora de origen coreano, utilizada por la CMCN para perforar el yacimiento. Cuenta con tres partes principales:

Sistema hidráulico, el cual está compuesto principalmente por cilindro, pistón y válvulas. El cilindro va cerrado por una tapa delantera que dispone de una abertura axial donde se coloca el elemento portabarrenas, y un dispositivo retenedor de las varillas de perforación. El pistón realiza un movimiento alternativo que va golpeando el vástago o culata a través de la cual se transmite la onda de choque a la varilla. Las válvulas son las encargadas de regular el paso del fluido comprimido en volumen fijado y de forma alternativa a la parte posterior y anterior del pistón.

Mecanismo de rotación: este es de barra estriada. Utilizado para perforación ligera, el pistón tiene forma tubular y rodea a la barra por medio de una tuerca de rotación. La barra va conectada a los componentes estáticos del martillo por medio de trinquetes y el extremo frontal del pistón dispone de unas estrías planas que durante la carrera de retroceso del pistón giran arrastrando al varillaje en el mismo sentido. También puede ser de rotación independiente que es la que se utiliza para perforación de barrenos de gran diámetro, el extremo frontal del pistón tiene estrías rectas y coloidales. Estas estrías engranan con las de tuerca del buje de rotación que va unido interiormente a la rueda de trinquetes. Las varillas sólo giran durante la carrera de retroceso del pistón.

Sistema de barrido: consiste en un tubo que permite el paso del aire hasta el interior del varillaje. Su función es expulsar el material molido producto del avance de las barras de perforación.

Preparado por	Revisor por	Aprobado por	En revisión
			Versión 00
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:

	Plan de Mantenimiento Preventivo	Revisión:00
		Fecha: 15/12/2016
	Procedimiento Operativo Estándar Equipos críticos	Vigencia: 15/12/2017
		Página 5 de 13

Responsabilidades

Mecánicos: Son responsables de ejecutar las tareas de mantenimiento preventivo, de registrarlas en las hojas de vida de los equipos y anotar observaciones para futuras intervenciones.


Jefe del departamento de mantención: Encargado de planificar las tareas de mantenimiento, realizar presupuesto y hacer cumplir lo establecido por este documento. Responsable de supervisar todos los trabajos realizados por los mecánicos del área.

Operarios: Encargados de operar los equipos y de velar por la correcta ejecución de los procesos dentro de la operación. Responsables de informar cualquier desperfecto, ruido o evento que pudiera ocasionar fallas o deterioro del equipo.

Planificación del mantenimiento

Las mantenciones preventivas expuestas en el siguiente desarrollo, responden a la capacidad de aumentar el tiempo de disponibilidad de los equipos, por lo tanto, estas deberán ser efectivas en su realización y registradas para asegurar el cumplimiento de las mismas. Cabe señalar que las mantenciones aquí propuestas estarán orientadas a “Prevenir” fallas futuras, mediante el análisis y diagnóstico autónomo por parte de la CMCN para con sus equipos.

Preparado por	Revisor por	Aprobado por	En revisión
			Versión 00
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:

	Plan de Mantenimiento Preventivo	Revisión: 00
		Fecha: 15/12/2016
		Vigencia: 15/12/2017
	Procedimiento Operativo Estándar Equipos críticos	Página 6 de 13

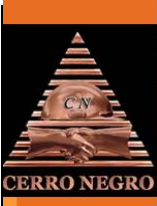
Actividades del mantenimiento preventivo

A continuación, se muestra la serie de equipos que deberán seguir este plan de mantenimiento, con sus respectivos procedimientos.

Procedimiento Operativo Estándar excavadora Komatsu PC 800

Procedimiento Operativo Estándar	
Sistema:	Excavadora Komatsu PC800
Responsable:	Jefe de mantenimiento y mecánicos
Frecuencia:	Mensual
Cambio de filtros.	
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.	
2.- Delimitar la zona a intervenir.	
3.- Desenroscar el filtro y desecharlo en el contenedor de desechos tóxicos.	
4.- Instalar el nuevo filtro, enroscándolo en sentido de las manecillas del reloj.	
5.- Restablecer el suministro eléctrico.	
6.- Verificar que el filtro haya quedado instalado herméticamente.	
Sustitución resorte regulador de presión.	
<p>El sistema hidráulico permanece siempre bajo presión interna, por lo tanto, libere la presión al interior del circuito antes de inspeccionar o sustituir elementos del sistema. Si la presión no se libera, el aceite saldrá a chorro, pudiendo provocar daños personales graves.</p>	

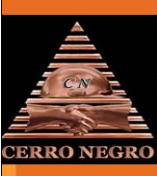
Preparado por	Revisor por	Aprobado por	En revisión
			Versión 00
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:

	Plan de Mantenimiento Preventivo	Revisión:00
		Fecha: 15/12/2016
	Procedimiento Operativo Estándar Equpos críticos	Vigencia: 15/12/2017
		Página 7 de 13

1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.
2.- Delimitar la zona a intervenir.
3.- Accionar palancas de control hasta el fin de su recorrido.
4.- Extraer la tapa del depósito hidráulico.
5.- Sustituir resorte regulador y tapar el depósito hidráulico.
6.- Hacer funcionar el motor a no más de 1.000 rpm durante no más de un minuto.
7.- Situar las palancas de control del equipo en la posición HOLD.

Procedimiento Operativo Estándar	
Sistema:	Excavadora Komatsu PC800
Responsable:	Jefe de mantención y mecánicos
Frecuencia:	Trimestral
Inspección desgaste de sellos.	
1.- Detener el suministro eléctrico del equipo.	
2.- Delimitar la zona a intervenir.	
3.- Realizar una inspección visual de los componentes del sistema.	
4.- Revisar el estado de aislación de sellos. En caso de observar alguna anomalía e la hermeticidad de los sellos, dar aviso al encargado del taller para su reparación o verificación de componentes.	
En caso de fuga del fluido hidráulico, realizar pruebas de fuga para asegurar el buen funcionamiento del sistema.	
Lubricación de piezas móviles, bujes y pasadores	
1.- Situar el equipo en posición de engrase y hacer descender el brazo hasta el suelo.	
2.- Detener el suministro eléctrico del equipo.	
3.- Delimitar la zona a intervenir.	

Preparado por	Revisor por	Aprobado por	En revisión
			Versión 00
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:

	<h2>Plan de Mantenimiento Preventivo</h2>	Revisión:00
		Fecha: 15/12/2016
	Procedimiento Operativo Estándar Equipos críticos	Vigencia: 15/12/2017
		Página 8 de 13

4.- Mediante el uso de una bomba engrasadora, engrasar:

- a) Pasador de la parte inferior del cilindro de la pluma.
- b) Pasador de la parte inferior de la pluma.
- c) Pasador de la parte inferior del cilindro del brazo.
- d) Pasador de unión pluma-brazo.
- e) Pasador del vástago del cilindro del brazo.
- f) Pasador de unión brazo-articulación.
- g) Pasador de unión brazo-cazo.
- h) Pasador de unión cazo articulación.

5.- Una vez engrasado cada pasador, limpiar la zona de residuos de grasa vieja que haya salido producto de la lubricación.

Inspección del motor.

- 1.- Detener el suministro eléctrico del equipo.
- 2.- Inspección de la tensión de la cadena de transmisión
- 3.- Delimitar la zona de trabajo.
- 4.- Realizar chequeo de conexión de alimentación eléctrica.
- 5.- Revisar estado del transformador.
- 6.- Medir voltaje y corriente del motor.
- 7.- Verificar estado y tensión de la cadena de transmisión.

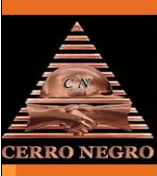
Procedimiento Operativo Estándar

Sistema:	Excavadora Komatsu PC800
Responsable:	Jefe de mantenimiento y mecánicos
Frecuencia:	Semestral

Ajuste de la tensión de la correa de transmisión del alternador.


- 1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.
- 2.- Delimitar la zona a intervenir.

Preparado por	Revisor por	Aprobado por	En revisión
			Versión 00
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:

	<h2>Plan de Mantenimiento Preventivo</h2>	Revisión:00
		Fecha: 15/12/2016
	Procedimiento Operativo Estándar Equipos críticos	Vigencia: 15/12/2017
		Página 9 de 13

3.- Aflojar los pernos y tuercas, y mover el alternador.
4.- Ajustar la tensión de la correa de transmisión apretando la tuerca n°6 del equipo.
5.- Verificar cada polea por si estuviera dañada y verificar el desgaste de la polea trapezoidal.
6.- Si en especial la polea trapezoidal se encuentra alargada, no se puede ajustar ó se encuentra cortada se debe sustituir.
7.- Una vez sustituida la polea trapezoidal, ajustarla nuevamente tras 1 hora de funcionamiento del equipo.
Cambio de líquido refrigerante.
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.
2.- Delimitar la zona a intervenir.
3.- Girar la tapa del radiador lentamente hasta retirarla.
4.- Colocar un recipiente debajo de la válvula de descarga la cual se encuentra en la parte inferior del radiador y abrirla para drenar el líquido de refrigeración.
5.- Una vez drenado el líquido cerrar la válvula, llenar con líquido refrigerante hasta la parte superior del radiador.
6.- Para desairear el sistema de refrigeración hacer funcionar el motor a una velocidad alta durante 5 minutos.
7.- Para finalizar colocar la tapa del radiador y apretar.
Cambio de filtros de combustible.
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.
2.- Delimitar la zona a intervenir.
3.- Poner bandejas debajo del filtro de combustible para evitar derrames.
4.- Girar el filtro de combustible y retirarlo.
5.- Limpiar la base del filtro y llenar el nuevo filtro con ACPM limpio. A continuación, instalar el nuevo filtro en la base del motor.

Preparado por	Revisor por	Aprobado por	En revisión
			Versión 00
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:

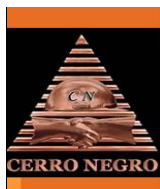
	Plan de Mantenimiento Preventivo	Revisión:00
		Fecha: 15/12/2016
	Procedimiento Operativo Estándar Equipos críticos	Vigencia: 15/12/2017
		Página 10 de 13

6.- Durante la instalación, conectar la superficie de sellado con el empaque del filtro de bloque y ajustar.
7.- Luego de reemplazar el elemento del filtro combustible, quitar el aire del sistema de acuerdo a los siguientes pasos:
a) Llenar el tanque de combustible en su totalidad.
b) Después de reemplazar el filtro, afloje el tornillo de fijación.
c) Soltar el botón de la transferencia de la bomba de inyección.
d) Apretar el tornillo de cierre y arrancar el motor para comprobar si la superficie de sellado presenta fugas.

Procedimiento Operativo Estándar perforadora Junjin


Procedimiento Operativo Estándar	
Sistema:	Perforadora Junjin n°2
Responsable:	Jefe de mantenimiento y mecánicos
Frecuencia:	Trimestral
<p>El sistema hidráulico permanece siempre bajo presión interna. Por lo tanto, libere la presión al interior del circuito antes de inspeccionar o sustituir elementos del sistema. Si la presión no se libera, el aceite saldrá a chorro, pudiendo provocar daños personales graves.</p>	
Inspección del compresor.	
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.	
2.- Delimitar la zona a intervenir.	
3.- Verificar que el equipo no se encuentre sobrecalentado.	
4.- Realizar inspección visual del estado del cableado.	
5.- Si se encuentran cables cortados se debe realizar el cambio de éstos.	

Preparado por	Revisor por	Aprobado por	En revisión
			Versión 00
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:

	<h2>Plan de Mantenimiento Preventivo</h2>	Revisión:00
		Fecha: 15/12/2016
		Vigencia: 15/12/2017
Procedimiento Operativo Estándar Equipos críticos		Página 11 de 13

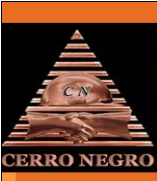
6.- Realizar limpieza a los cables que presenten suciedad.
7.- Verificar el estado y cantidad de refrigerante.
8.- Verificar el estado de los captadores de polvo del compresor.
9.- Controlar el nivel de aceite que mantiene al equipo.
10.- Reestablecer el suministro eléctrico.
Limpieza filtro de aspiración de polvo del compresor.
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.
2.- Delimitar la zona a intervenir.
3.- Retirar el filtro aspirador de polvo ubicado en el compresor.
4.- Con una pistola de soplado, soplar el filtro para retirar el polvo acumulado.
5.- En caso que el filtro esté averiado debe ser sustituido.
6.- Una vez instalado el filtro hacer funcionar el equipo, nunca utilizar el compresor sin el filtro aspirador de polvo instalado.
Cambio de aceite.
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.
2.- Delimitar la zona a intervenir.
3.- Poner bandejas debajo del filtro de combustible para evitar derrames.
4.- Extraer varilla de medición de aceite.
5.- Enroscar el tornillo de purga de aceite.
6.- Extraer todo el aceite y eliminarlo de forma ecológica según procedimientos internos.
7.- Realizar el llenado de aceite hasta el tope, evitar realizar un llenado excesivo de aceite.
8.- Reestablecer el suministro eléctrico para verificar que no haya fuga de aceite.

Preparado por	Revisor por	Aprobado por	En revisión
			Versión 00
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:

	Plan de Mantenimiento Preventivo	Revisión:00
		Fecha: 15/12/2016
	Procedimiento Operativo Estándar Equipos críticos	Vigencia: 15/12/2017
		Página 12 de 13

Procedimiento Operativo Estándar	
Sistema:	Perforadora Junjin n°2
Responsable:	Jefe de mantención y mecánicos
Frecuencia:	Semestral
Cambio de filtros de combustible.	
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.	
2.- Delimitar la zona a intervenir.	
3.- Poner bandejas debajo del filtro de combustible para evitar derrames.	
4.- Girar el filtro de combustible y retirarlo.	
5.- Limpiar la base del filtro y llenar el nuevo filtro con ACPM limpio. A continuación, instalar el nuevo filtro en la base del motor.	
6.- Durante la instalación, conectar la superficie de sellado con el empaque del filtro de bloque y ajustar.	
7.- Luego de reemplazar el elemento del filtro combustible, quitar el aire del sistema de acuerdo a los siguientes pasos:	
a) Llenar el tanque de combustible en su totalidad.	
b) Después de reemplazar el filtro, afloje el tornillo de fijación.	
c) Soltar el botón de la transferencia de la bomba de inyección.	
d) Apretar el tornillo de cierre y arrancar el motor para comprobar si la superficie de sellado presenta fugas.	

Preparado por	Revisor por	Aprobado por	En revisión
			Versión 00
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:

	Plan de Mantenimiento Preventivo	Revisión:00
		Fecha: 15/12/2016
	Procedimiento Operativo Estándar Equipos críticos	Vigencia: 15/12/2017
		Página 13 de 13

Cambio de válvula.
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.
2.- Delimitar la zona a intervenir.
3.- Verificar que la válvula se encuentre cerrada antes de retirarla.
4.- Instalar nueva válvula según las especificaciones realizadas por el fabricante.
5.- Reestablecer el suministro eléctrico para verificar el estado de la nueva válvula.
Inspección de la unidad rotatoria.
1.- Situar el equipo en posición de mantenimiento y detener el suministro eléctrico.
2.- Delimitar la zona a intervenir.
3.- Verificar el estado de las bombas que suministran el caudal de aceite que acciona los movimientos de rotación.
4.- Inspeccionar el estado de las válvulas reguladoras de presión y se procede a su sustitución.
5.- Revisar el estado del pistón que propaga la energía a través de las barras de perforación.
6.- Verificar el estado de las brocas de perforación, dependiendo del grado de desgaste deberán ser reemplazadas a criterio del mecánico a cargo de la inspección.

Preparado por	Revisor por	Aprobado por	En revisión
			Versión 00
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha: