



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD MEDIANTE LA
IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN
LA CONFIABILIDAD DE FAJA TRANSPORTADORA EN LA
MINERA CHINALCO”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
PERCY ENRIQUE PEREZ GUERRERO**

**ASESOR
MG. ING. ROGELIO ALEXSANDER LOPEZ RODAS**

LIMA – PERÚ, JUNIO 2021

DEDICATORIA

El presente trabajo de suficiencia profesional está dedicado a mí querida esposa y a mis dos adorados hijos, a quienes durante mis estudios dejé de dedicarles el tiempo como corresponde, pero me tuvieron mucha comprensión y paciencia en ese tiempo de esfuerzos.

También a mis queridos padres, quienes supieron guiarme, apoyarme y darme buenos valores y estudios durante mi crianza.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la entidad Minera Chinalco del Perú, por permitirme desarrollar mi Trabajo de Suficiencia Profesional a través del área de confiabilidad, en la cual vengo laborando desde hace seis años.

A todos mis maestros, por transmitir sus conocimientos de la universidad para mi formación profesional, por sus grandes enseñanzas y apoyo en todo momento.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto trata de mejorar la confiabilidad de un equipo crítico del área de chancado de la mina Chinalco del Perú mediante la metodología de la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Hoy en día, las fajas transportadoras son unos de los equipos más críticos de las compañías mineras, estos equipos permiten trasladar minerales y sus condiciones operacionales muchas veces son adversos y si a esto le incluimos una gestión inadecuada del mantenimiento, conlleva a altos costos de mantenimiento y disminuciones sustanciales de producción por su baja disponibilidad.

Este proyecto pretende hacerse cargo de las excesivas horas por mantenimiento, atacando el alto índice y frecuencias de fallas mediante planes de mantenimiento adecuados y con optimización de tiempos con la finalidad de incrementar su disponibilidad.

Mejorar la confiabilidad de la faja transportadora Overland de Minera Chinalco Perú (MCP) es de gran importancia, actualmente, se transporta 6,500 TN/Hr y con el proyecto de expansión se espera incrementar a 8,500 TN/Hr convirtiéndose en un reto incrementar la disponibilidad de la faja, la cual actualmente tiene alta frecuencias de fallas en sus componentes (cinta de faja, reductores de engranajes, sistema de control, rodamientos de poleas etc.)

El presente trabajo pretende mejorar la confiabilidad para que el equipo funcione sin fallar, además de optimizar las horas de mantenimiento preventivo los cuales también afectan la disponibilidad. Esta capacidad de operatividad, tiene relación con operación que se encuentre dentro del diseño; su conservación durante su funcionamiento; la calidad de sus repuestos y sus mantenimientos sean bien realizados.

RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia pretende mejorar la confiabilidad de la faja transportadora Overland de Minera Chinalco del área de Chancado Primaria, mediante la implementación del Mantenimiento centrado en la Confiabilidad, es decir, ("Reliability Centered Maintenance", RCM), logrando disminuir el alto índice y frecuencias de fallas por mantenimiento con la finalidad de incrementar su disponibilidad y reducir sus costos de mantenimiento.

La problemática existente es la baja disponibilidad por horas de mantenimiento correctivas y preventivas no planificadas, por el cual, el presente proyecto de investigación tiene por objetivo mejorar la disponibilidad aplicando la metodología del mantenimiento basado en la confiabilidad, recayendo a una metodología de estudio tipo descriptivo.

Para realizar este trabajo se recopiló información de los siguientes formatos: Checklist de equipos, partes diarios del operador, inspecciones semanales de equipos, status de equipos y detenciones diarias de los equipos (RMESdata), con el RCM se pretende finalmente obtener estrategias de mantenimiento que ayuden a disminuir el índice de fallas, incrementando el tiempo medio entre fallas y reduciendo el tiempo medio para reparar.

El proceso de la metodología consiste en crear un grupo multidisciplinario por disciplinas (especialistas mecánicos, electricistas, instrumentistas y operadores); y posteriormente en un formato establecido se definen el contexto operacional y funciones de los distintos sistemas, se determinan los modos de fallas, las causas y sus consecuencias de cada falla y finalmente se define qué estrategia de mantenimiento debe hacerse para evitar el fallo.

ABSTRACT

This sufficiency work aims to improve the reliability of Minera Chinalco's Overland conveyor belt in the Primary Crushing area, through the implementation of Reliability Centered Maintenance, that is, ("Reliability Centered Maintenance", RCM), reducing the high maintenance failure rate and frequencies in order to increase availability and reduce maintenance costs.

The existing problem is the low availability due to unplanned corrective and preventive maintenance hours, for which the objective of this research project is to improve availability by applying the maintenance methodology based on reliability, falling back to a descriptive study methodology.

To carry out this work, information was collected from the following formats: equipment checklist, daily operator parts, weekly equipment inspections, equipment status and equipment daily stoppages (RMESdata), with the RCM it is finally intended to obtain maintenance strategies that help decrease the failure rate, increasing the mean time between failures and reducing the mean time to repair.

The process of the methodology consists of creating a multidisciplinary group by disciplines (mechanical specialists, electricians, instrumentalists and operators); Later, in an established format, the operational context and functions of the different systems are defined, the failure modes, causes and consequences of each failure are determined and finally the maintenance strategy that must be done to avoid failure is defined.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO	II
INTRODUCCIÓN.....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT	V
TABLA DE CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE IMÁGENES	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE gráficos	X
Capítulo I	1
Generalidades de la empresa o entidad	1
1.1. Antecedentes de la empresa o entidad	1
1.2. Perfil de la empresa o entidad.....	2
1.3. Actividades de la empresa o entidad.....	2
1.3.2. Visión	3
1.3.3. Valores.....	3
1.4. Organización actual de la empresa o entidad (Coherencia en el contenido)	4
1.5. Descripción del entorno de la empresa o entidad (Análisis del entorno).....	6
1.5.1. Análisis del Entorno general.....	6
1.5.2. Análisis del entorno competitivo.....	7
1.5.3. Análisis interno de la entidad	7
1.5.4. Matriz FODA y estudio analítico de matrices	8
Capítulo II	14
Realidad problemática	14
2.1. Descripción de la realidad problemática.....	14
2.2. Análisis del problema.	17

2.2.1. Causas del problema	17
2.2.2. Variables e indicadores	20
2.3. Objetivo del proyecto.....	20
2.3.1. Objetivo general	20
2.3.2. Objetivos específicos	20
Capítulo III	22
Desarrollo del proyecto.....	22
3.1. Descripción y desarrollo del proyecto.....	22
3.1.1. Aplicación práctica de las herramientas de calidad	23
3.2. Matriz de selección del problema	25
3.2.1. Investigación análisis e identificación del problema	25
3.3. Proceso de la implementación del RCM	34
3.5. Conclusiones.....	47
3.6. Recomendaciones.....	48
Capítulo IV	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
Bibliografía.....	50
Capítulo V.....	51
GLOSARIO Y TÉRMINOS	51
Capítulo VI.....	53
ANEXOS	53
.....	55

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Ubicación Geográfica de la Minera Chinalco S.A. del Perú	1
Imagen 2 Organigrama de Área Mantenimiento Planta Concentradora	5
Imagen 3 Matriz FODA en Minera Chinalco Perú S.A.	11
Imagen 4 Matriz EFI/EFE de la Minera Chinalco Perú S.A.	13
Imagen 5 Fractura de eje de Polea 7 Faja Overland	15
Imagen 6 Fractura en Cambio de Sección de la Faja Overland.....	16
Imagen 7 Fallas por Corte de Banda y Cables de Faja Overland	16
Imagen 8 Falla de Rodamiento de Polea 8 Faja Overland	17
Imagen 9 Curva P-F Combinando técnicas Predictivas.....	19
Imagen 10 Software RMEs Data de Minera Chinalco Perú S.A.....	24
Imagen 11 Software ERP SAP de Minera Chinalco.....	25
Imagen 12 Diagrama Ishikawa para la Faja Overland	28
Imagen 13 Proceso de la Implementación del RCM.....	35
Imagen 14 Esquema de la Faja Overland Equipo a Implementar el RCM.....	38
Imagen 15 Vista Área de la Instalación	38
Imagen 16 Diagrama Funcional de la operación de la Minera Chinalco	39
Imagen 17 Hoja de Información de Falla Funcional en el Sistema Hidráulico	41
Imagen 18 Hoja de Información de Modo de Falla en el Sistema Hidráulico	42
Imagen 19 Diagrama de Decisión del RCM.....	44
Imagen 20 Hoja de Ruta en SAP ERP.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de Evaluación de factores Externos (EFE)	9
Tabla 2 Matriz de Evaluación de Factores Internos (EFI)	10
Tabla 3 KPIs Área de Chancado Primario del Año 2019	14
Tabla 4 KPIs Área de Chancado Primario del Año 2018	14
Tabla 5 KPIs Área de Chancado Primario del Año 2017	15
Tabla 6 Matriz de la Identificación de la Causa Directa y Factible M/M	29
Tabla 7 Matriz de la Identificación de la Causa Directa y Factible M/M	30
Tabla 8 Matriz Para Identificar las Soluciones Directas y Factibles	32
Tabla 9 Aplicación del Método de los 5 Por Que	33
Tabla 10 Cronograma de la Implementación del RCM	46
Tabla 11 Costos de la Implementación del RCM	46

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Jack Knife de Equipos del Área de Chancado	26
---	----

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LA EMPRESA O ENTIDAD

1.1. Antecedentes de la empresa o entidad

Minera Chinalco Perú S.A., es una empresa cuyas acciones pertenecen a Aluminum Corporation of China (CHINALCO), compañía estatal de la República Popular China, reconocida como líder de la industria de minerales no ferrosos que aspira a convertirse en una corporación polimetálica mundial (Minera Chinalco Perú S.A., 2019)

El proyecto Toromocho se encuentra localizada en la sierra central de los Andes del Perú; en el distrito de Morococha, provincia de Yauli, departamento de Junín, como se puede observar en la (Imagen 1).

La mina Toromocho cuenta con una reserva de mineral de cobre y molibdeno, las exploraciones geológicas de mina han determinado que la reserva contiene 1526 millones de toneladas de mineral, el año 2019 Chinalco produjo 190,300 TN de cobre fino con una ley promedio de cobre de 0,48% y una producción de concentrado de 119,400 TN/día.

Imagen 1

Ubicación Geográfica de la Minera Chinalco S.A. del Perú



Fuente: (Toromocho, 2013)

1.2. Perfil de la empresa o entidad

El proyecto Toromocho de la Minera Chinalco Perú S.A corresponde a la gran minería de cobre y molibdeno, ubicándose dentro de las diez minas de mayor producción de cobre en el Perú, la mina es de tajo abierto y cuenta con una reserva para treinta y seis años de producción, el proceso de obtención de mineral es por flotación de cobre y cuenta además con la única planta hidrometalurgia, (planta de producción de óxido de molibdeno) en el Perú, sin embargo, aún no es operada por falta de concentrado de molibdeno.

Actualmente la Minera Chinalco Perú S.A produce 119,400 TN/día (Ciento diecinueve mil cuatrocientas toneladas por día) de mineral concentrado y a mediados del 2020 culminara el proyecto de expansión de la planta concentrado, con lo cual se espera producir 170,000 TN/día (Ciento setenta mil toneladas por día), logrando con esto posicionarse como una de las primeras minas productoras de cobre en el Perú.

La planta concentradora cuenta con las siguientes principales áreas de procesos:

- Mina – Tajo abierto
- Chancadora Primaria
- Molienda
- Flotación
- Filtros
- Relaves
- Planta hidrometalurgia de Molibdeno
- Planta de tratamiento de agua Kinsmill

Los concentrados de cobre serán transportados en ferrocarril de la sierra central al puerto del Callao.

1.3. Actividades de la empresa o entidad

1.3.1. Misión

La Minera Chinalco Perú S.A aspira que la reconozcan como una de las grandes empresas mineras del mundo de primer nivel, basados en la calidad y su eficiencia de gestión integral. (Minera Chinalco Perú S.A., 2019).

1.3.2. Visión

Aportar con el desarrollo local y nacional, además del éxito de sus accionistas y sus trabajadores, a través del aprovechamiento cuidadoso y eficiente de sus recursos (Minera Chinalco Perú S.A., 2019).

1.3.3. Valores

Los seis valores fundamentales de la entidad Minera Chinalco Perú S.A., se tomaron como referencia de la página web de MCP (Minera Chinalco Perú S.A., 2019), las cuales se describen de la siguiente manera:

- **Integridad**

En Chinalco actuamos de manera honesta, justa, ética y transparente en todo lo que hacemos; además, honramos nuestros compromisos y cumplimos con las leyes y las políticas corporativas (Minera Chinalco Perú S.A., 2019).

- **Colaboración**

Trabajamos juntos como equipo para conquistar objetivos comunes (Minera Chinalco Perú S.A., 2019).

- **Responsabilidad**

En Chinalco asumimos las consecuencias de nuestras decisiones, acciones y resultados. Damos nuestro máximo esfuerzo en todo lo que hacemos y trabajamos con alta eficiencia y calidad (Minera Chinalco Perú S.A., 2019).

- **Respeto**

Tratamos a todas las personas de manera justa y equitativa, todo el tiempo, demostrando dignidad y cortesía (Minera Chinalco Perú S.A., 2019).

- **Innovación**

Contamos con un ambiente de trabajo que promueve la generación de nuevas ideas y métodos para hacer las cosas; en ella

desarrollamos soluciones innovadoras y estimulamos nuevas maneras de pensar y trabajar (Minera Chinalco Perú S.A., 2019).

– **Buen vecino**

La seguridad es nuestra principal prioridad y lo demostramos cuidando nuestras vidas, las de nuestros compañeros y la integridad de las instalaciones en todo lo que hacemos. MCP promueve una sana, constructiva y cercana convivencia con las comunidades de su entorno y están comprometidos con operar con los mayores estándares ambientales de la industria (Minera Chinalco Perú S.A., 2019).

1.4. Organización actual de la empresa o entidad (Coherencia en el contenido)

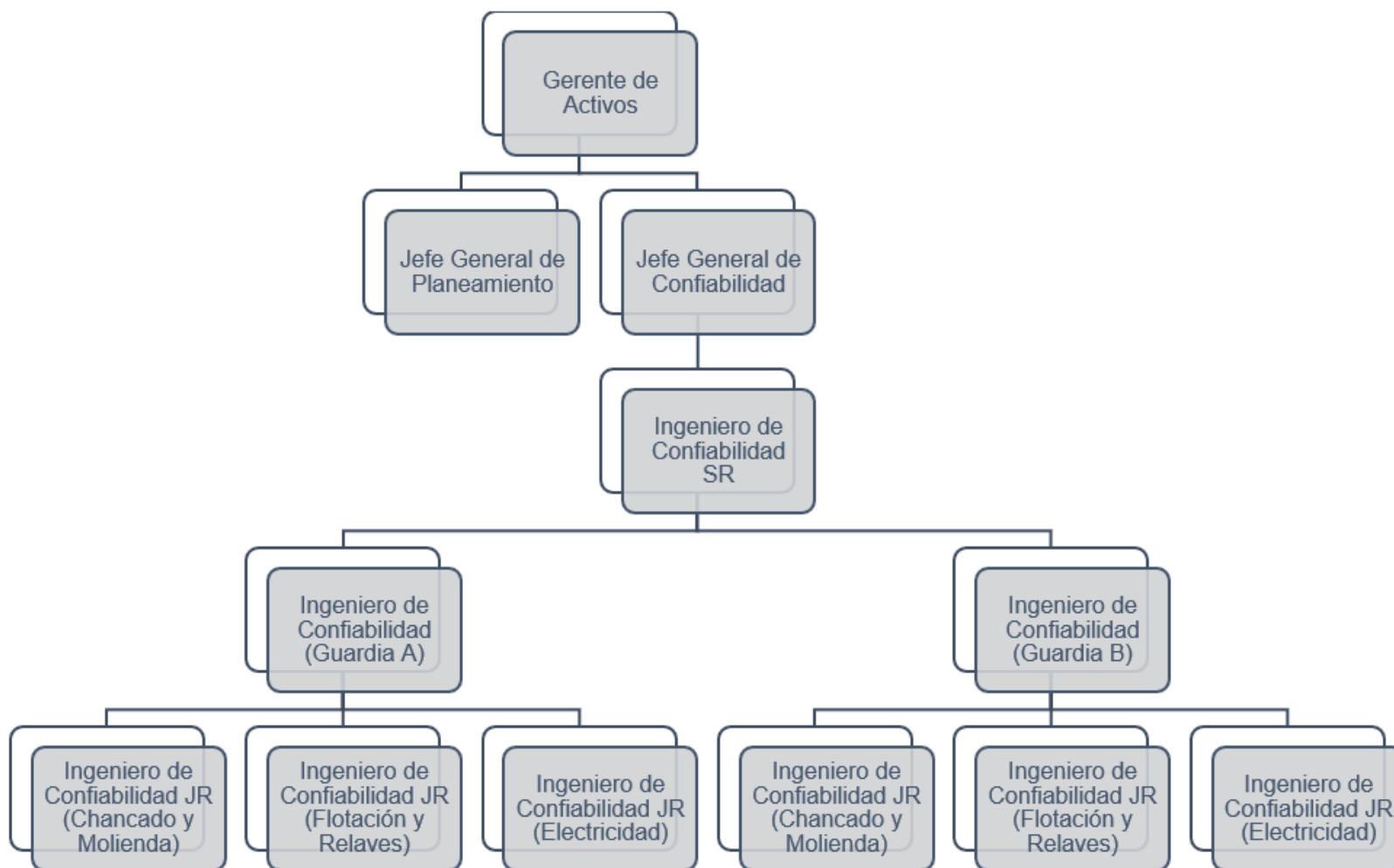
La Minera Chinalco Perú S.A cuenta con las siguientes áreas:

- Recursos humanos
- Finanzas
- TICA
- Operaciones Procesos
- Operaciones Mina
- Mantenimiento Planta
- Mantenimiento Mina
- Seguridad y salud ocupacional
- Medio ambiente
- Proyectos

La entidad Minera Chinalco Perú S.A, cuenta con un área de estudio y un área de mantenimiento de planta, y dentro de esta se tiene el organigrama del área de gestión de activos como se muestra en imagen 2.

Imagen 2

Organigrama de Área Mantenimiento Planta Concentradora



Fuente propia: (Pérez, 2020)

1.5. Descripción del entorno de la empresa o entidad (Análisis del entorno)

1.5.1. Análisis del Entorno general

A. Factores económicos

Los últimos cuatro meses desde el mes de agosto del 2019 el cobre a tenido un crecimiento y esto se debe a una mejora en la demanda China, el mayor consumidor en el mundo de metales. No obstante, aún se mantiene el nerviosismo sobre las negociaciones comerciales entre Estados Unidos y China.

A los 1037 GMT, el cobre referencial en la bolsa de metales de Londres (LME) ganaba un 0.4%, a US\$ 6,012 la tonelada, cota más elevada desde el 25 de Julio del 2019. Las importaciones de China subieron un inesperado 0.3% frente al año previo, su primer crecimiento interanual desde abril y por encima de un declive del 1.8% (Ministerio de Energía y Minas, 2019)

B. Factores tecnológicos

El factor tecnológico cubre un papel importante hoy en día, la pequeña y gran minería que no se actualiza con la tecnología de información y equipos con instrumentos de última tecnología que ayuden a mejorar los procesos y la confiabilidad de los equipos son condenadas al fracaso por la baja crecida del precio del cobre y la alta competitividad entre empresas mineras.

C. Factores políticos

Hoy en día la confianza política minera en el Perú se encuentra muy temerosa por los últimos acontecimientos suscitados, principalmente por la paralización del Proyecto Tía María de la empresa Souther Cooper Corporation, las paralizaciones por las comunidades mineras en las Bambas y antecididos de la paralización del proyecto Conga en Minera Yanacocha. Para garantizar la confianza en los inversionistas extranjeros el Gobierno debe ejercer la autoridad sustentados en proyectos sostenibles para impulsar el desarrollo y empleo en el país.

1.5.2. Análisis del entorno competitivo

El Perú es el segundo productor de cobre y Chile como primer productor a nivel mundial, no obstante, los últimos 4 años Perú ha tenido un crecimiento sustancial con la apertura de nuevas minas como Chinalco, Las Bambas, Constancia y la ampliación de planta de la mina Cerro Verde. Así mismo para el año 2020 y 2021 Perú tendrá un crecimiento de producción con el inicio de la operación de la Mina Justa y Quellaveco además de las ampliaciones de planta de Chinalco y otras.

Perú cuenta con grandes reservas de mineral de cobre además de oro, plata, estaño y zinc las cuales se encuentran principalmente en la cordillera de los andes y a lo largo de la sierra y costa de todo el Perú.

Así mismo es importante mencionar que Perú es un país privilegiado por aun contar con una gran reserva de agua y energía, elementos los cuales son de vital importancia en el proceso de producción de la minería, haciéndonos más competitivos en el costo por tonelada producida frente a otros países los cuales no cuentan con estos elementos.

1.5.3. Análisis interno de la entidad

A. Recursos tangibles

Entre los recursos importantes se tiene la Producción de cobre y Molibdeno, teniendo mejoras en la recuperación y ley de cobre en los últimos 2 años lo cual permite tener un mejor precio de venta del concentrado de cobre. Respecto a la producción de óxido de molibdeno aun el mineral procesado tiene un bajo concentrado de este mineral lo cual no permite activar la planta de Hidrometalurgia.

Respecto a los recursos hídricos se tiene una deficiencia en tiempos de bajas lluvias, por esta razón se están incrementando las reservas de represas para poder sostener la capacidad de agua del proceso de la planta concentradora.

B. Análisis de recursos y capacidades

MINERA CHINALCO PERÚ S.A. es consciente que el material humano es uno de los activos más importantes en la empresa, por esta razón MCP

se encarga de capacitar, captar y retener al personal más competente del mercado local y en algunos puestos estratégicos del mercado extranjero.

C. Seguridad del recurso Humano

MINERA CHINALCO PERÚ S.A. tiene como uno de sus principales pilares velar por la integridad de los trabajadores es por eso que, cumpliendo con el sistema de prevención de riesgos, las leyes y la capacitación se eliminan los incidentes y para ser reconocida el año 2019 se certificó en OSHAS 18001 cumpliendo y manteniendo los altos estándares de seguridad en gran Minería.

1.5.4. Matriz FODA y estudio analítico de matrices

A: Matriz de evaluación de factores externos

Se realizó la matriz de evaluación según los factores externos actuales referidos a la minería de producción de cobre.

Tabla 1
Matriz de Evaluación de factores Externos (EFE)

ANÁLISIS EXTERNO	PESO	CALIFICACIÓN	PONDERADO TOTAL
OPORTUNIDADES			
O1 Existe la posibilidad de comprar otras minas en el Perú	0.15	4	0.6
O2 Mantener la buena relación con las comunidades de la zona de influencia	0.10	3	0.3
O3 El Perú es uno de los países con mayor atractivo para la inversión Minera	0.07	3	0.21
O4 Intercambio de experiencia profesional con personal Chalco (China)	0.08	3	0.24
O5 Alianza estratégica con el país chino para la venta de Cobre	0.12	4	0.48
AMENAZAS			
A1 Bajo precio del cobre por problemas comerciales entre China y Estados U.	0.17	2	0.34
A2 Se observa cierta fragilidad política tras el cierre del congreso	0.07	2	0.14
A3 Pérdida de profesionales calificados por migración a otras minas nuevas	0.07	1	0.07
A4 Productos sustitutos podrían bajar el consumo mundial del cobre	0.04	2	0.08
A5 Falta poder del estado frente a las comunidades	0.06	1	0.06
A6 Intensidad de lluvias pueden ocasionar huaycos y afectar el transporte	0.07	1	0.07
	1.00		2.59

Fuente propia: (Pérez, 2020)

B: Matriz de evaluación de factores internos

Se realizó la matriz de evaluación según los factores internos actuales referidos al contexto operacional actual en minera Chinalco, que se muestra de la siguiente manera:

Tabla 2
Matriz de Evaluación de Factores Internos (EFI)

ANÁLISIS INTERNO	PESO	CALIFICACIÓN	PONDERADO TOTAL
FORTALEZAS			
F1 Certificación en OSHAS 18000 de MCP fortalece el aspecto de seguridad en el trabajador y la empresa	0.07	2	0.14
F2 La ampliación de la planta dará como beneficio el incremento de producción	0.12	3	0.36
F3 Chinalco es socialmente responsable y sostenible con las comunidades de la zona de influencia	0.07	4	0.28
F4 Se cuenta con personal altamente calificado en minería	0.05	4	0.20
F5 El movimiento de mineral por el ferrocarril del centro garantiza su transporte	0.04	2	0.08
F6 Su costo por tonelada molida en MCP se encuentra dentro de un valor aceptable	0.06	4	0.24
DEBILIDADES			
D1 Mineral no contiene molibdeno para producir óxido de molibdeno	0.06	2	0.12
D2 Yacimientos con baja ley, contenido de arsénico y flúor tienen bajo valor en el mercado	0.12	1	0.12
D3 Mineral muy duro o complejos ocasiona desgastes en las máquinas	0.06	2	0.12
D4 Baja disponibilidad y confiabilidad de los equipos por falta de Gestión de Mantenimiento	0.10	2	0.2
D5 La empresa no se encuentra certificada con las tres normas (ISO:9001/14001/45001)	0.06	1	0.06
D6 Alta rotación de personal de nivel de jefatura hacia arriba	0.07	2	0.14
			2.06

C.- Matriz FODA de la Minera Chinalco Perú S.A.

Imagen 3

Matriz FODA en Minera Chinalco Perú S.A.

<p>ANALISIS DE MATRIZ FODA</p>	<p>FUERZAS - F</p> <p>F1 Certificación en OSHAS 18000 de MCP fortalece el aspecto de seguridad en el trabajador y la empresa</p> <p>F2 La ampliación de la planta dara como beneficio el incremento de producción</p> <p>F3 Chinalco es social mente responsable y sostenible con las comunidades de la zona de influencia</p> <p>F4 Se cuenta con personal altamente calificado en minería</p> <p>F5 El movimiento de mineral por el ferrocarril del centro garantiza su transporte</p> <p>F6 Su costo por tonelada molida en MCP se encuentra dentro de un valor aceptable</p>	<p>DEBILIDADES - D</p> <p>D1 Mineral no contiene molibdeno para producir oxido de molibdeno</p> <p>D2 Yacimientos con baja ley, contenido de arsenico y fluor tienen bajo valor en el mercado</p> <p>D3 Mineral muy duro o complejos ocasiona desgastes en las máquinas</p> <p>D4 Baja disponibilidad y confiabilidad de los equipos por falta de Gestion de Mantenimiento</p> <p>D5 La empresa no se encuentra certificada con las Tri normas</p> <p>D6 Alta rotación de personal de nivel de jefatura hacia arriba</p>
<p>OPORTUNIDADES - O</p> <p>O1 Existe la posibilidad de comprar otras minas en el Perú</p> <p>O2 Mantener la buena relación con las comunidades de la zona de influencia</p> <p>O3 El Perú es uno de los países con mayor atractivo para la inversion Minera</p> <p>O4 Intercambio de experiencia profesional con personal Chalco (China)</p> <p>O5 Alianza estrategica con el país Chino para la venta de Cobre</p>	<p>ESTRATEGIAS - FO</p> <p>* Comprar otros yacimientos mineros en el Perú (O2, O3, O5 / F3,F4, F6)</p> <p>* Dar sostenibilidad a las buenas relaciones con las comunidades de la zona de influencia (O1, O2/ F3,F5)</p> <p>* Incremento de Producción tras ampliacion de planta (O5/F1,F2,F4,F6)</p>	<p>ESTRATEGIAS - DO</p> <p>* Mejorar la Gestión de Mantenimiento (D3, D5,D6)</p> <p>* Mejorar de los porcesos de produccion para incrementar la ley y reducir el fluor y arsenico (D2, D5,D6)</p> <p>* Implementar el sistema de Gestion integrado (D2, D3, D4,D6)</p>
<p>AMENAZAS - A</p> <p>A1 Bajo precio del cobre por problemas comerciales entre China y Estados U.</p> <p>A2 Se observa cierta fragilidad politica tras el cierre del congreso</p> <p>A3 Perdida de profesionales calificados por migración a otras minas nuevas</p> <p>A4 Productos sustitutos podrían bajar el consumo mundial del cobre</p> <p>A5 Falta poder del estado frente a las comunidades</p> <p>A6 Intensidad de lluvias pueden ocasionar huaycos y afectar el transporte</p>	<p>ESTRATEGIAS - FA</p> <p>* Tener plan de contingencias ante eventos de lluvias que afeten el transporte (A6)</p> <p>* Mantener los costos bajos de tonelada producida (F6/A1)</p>	<p>ESTRATEGIAS - DA</p> <p>* Evitar rotación de personal mejorando la condición de los trabajadores (D6/A6)</p> <p>* Evaluar la posibilidad de producir oxido de molibdeno con mineral de otras minas en planta de Hidrometalurgia (D1,D2)</p>

Del análisis FODA se concluye que las estrategias más importantes en MCP serían:

Estrategias FO:

- Comprar otros yacimientos mineros en el Perú
- Dar sostenibilidad a las buenas relaciones con las comunidades de la zona de influencia
- Sostener el incremento de Producción tras ampliación de planta concentradora.

Estrategias FA:

- Tener plan de contingencias ante eventos de lluvias que afecten el transporte de mineral, repuestos e insumos.
- Mantener y reducir los costos bajos por tonelada producida

Estrategias DO:

- Mejorar los procesos de Producción para mejorar la recuperación de cobre y reducción de minerales complejos (flúor, arsénico etc.).
- Mejoras de la gestión de mantenimiento en equipos de planta concentradora.
- Implementar el sistema de Gestión integrado que ayude a la mejora de los procesos de toda la planta.

Estrategias DA:

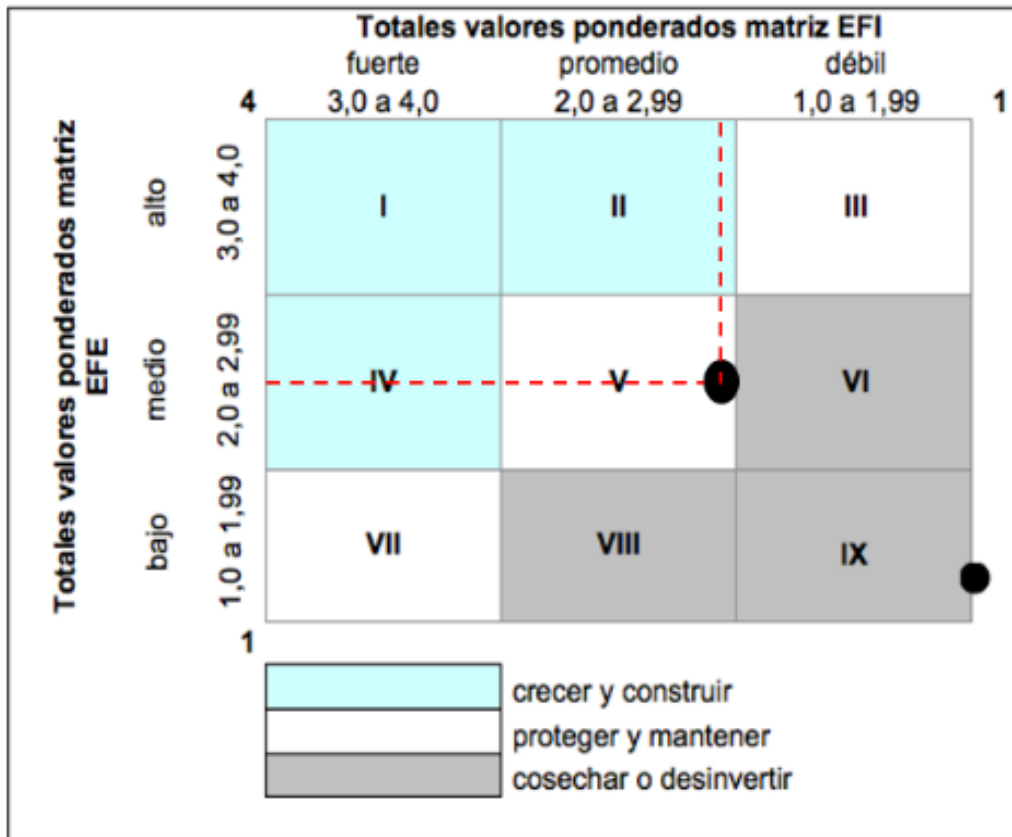
- Plan de trabajo de recursos humanos para evitar la rotación de trabajadores.
- Evaluar la posibilidad de producir oxido de molibdeno con mineral de otras minas en planta de Hidrometalurgia la cual se encuentra inoperativa por falta de mineral molibdeno.

D.- Matriz I/E en Minera Chinalco

De la matriz I/E de los datos obtenidos de EFE (2.59) y EFI (2.06) se concluye que MCP se encuentra en la zona de “Proteger y mantener”.

Imagen 4

Matriz EFI/EFE de la Minera Chinalco Perú S.A.



Fuente: (David, 2003)

CAPÍTULO II

REALIDAD PROBLEMÁTICA

2.1. Descripción de la realidad problemática.

El problema principal encontrado en la Faja Overland 200-CV-003 es su baja disponibilidad en el área de Chancado Primario, en los últimos 3 años 2017, 2018 y 2019 alcanzo las disponibilidades de 90%, 94.49% y 91.94% consecutivamente, debido al alto índice de fallas por paradas imprevistas, planes de mantenimiento incompletos, incremento de horas en los mantenimientos preventivos programados y técnicas predictivas inadecuadas y/o no se tienen establecidas correctamente los límites de alarmas o frecuencias de monitoreo.

Tabla 3

KPIs Área de Chancado Primario del Año 2019

TAG	EQUIPOS / SISTEMA	Disponibilidad[%]	Utilizacion [%]	OEE [%]	MTBF[Hrs.]	MTTR[Hrs.]
CHC	CHANCADO P.	87.33	82.50	72.05	43.76	251.00
200-CR-001	CHANCADORA	93.77	75.19	70.51	1,113.43	13.58
200-FE-001	APRON FEEDER 1	96.49	74.30	71.79	1,417.05	10.97
200-CV-001	FAJA 1	96.78	71.92	69.60	422.76	116.00
200-CV-002	FAJA 2	96.96	72.11	69.92	306.71	153.00
200-CV-003	OVERLAND	91.94	75.46	69.38	58.28	211.00

Fuente propia: (Pérez, 2020)

Tabla 4

KPIs Área de Chancado Primario del Año 2018

TAG	EQUIPOS / SISTEMA	Disponibilidad[%]	Utilizacion [%]	OEE [%]	MTBF[Hrs.]	MTTR[Hrs.]
CHC	CHANCADO P.	88.82	83.56	74.22	71.50	2.58
200-CR-001	CHANCADORA	90.55	85.89	77.77	681.26	11.90
200-FE-001	APRON FEEDER 1	93.85	81.49	76.48	670.00	3.10
200-CV-001	FAJA 1	94.02	89.44	84.09	1841.70	1.05
200-CV-002	FAJA 2	93.6	93.08	87.16	318.15	0.89
200-CV-003	OVERLAND	94.49	95.48	90.23	143.71	1.48

Fuente propia: (Pérez, 2020)

Tabla 5

KPIs Área de Chancado Primario del Año 2017

TAG	EQUIPOS / SISTEMA	Disponibilidad[%]	Utilizacion [%]	OEE [%]	MTBF[Hrs.]	MTTR[Hrs.]
CHC	CHANCADO P.	86.69	78.31	67.88	90.10	9.97
200-CR-001	CHANCADORA	94.61	79.36	75.08	438.51	1.63
200-FE-001	APRON FEEDER 1	94.59	72.78	68.84	1507.72	0.79
200-CV-001	FAJA 1	96.13	85.82	82.50	1445.48	1.83
200-CV-002	FAJA 2	95.78	93.92	89.96	525.38	1.26
200-CV-003	OVERLAND	90.09	98.88	89.08	162.58	12.81

Fuente propia: (Pérez, 2020)

KPIs del año 2019 de la Faja Overland indica que es el equipo el cual ha presentado menor disponibilidad y menor tiempo entre fallas de 58.28 horas lo cual estaría indicando que es el equipo que se debe tener mayor importancia para incrementar la disponibilidad del área de Chancado Primario.

En enero del 2017 la Faja Overland presento falla catastrófica por fractura de eje de una de sus poleas, lo cual ocasionó ruptura de su faja en varios tramos, deformaciones de estructuras. Esta parada fue la de mayor impacto ocasionando una parada de planta de 35 días con pérdidas de producción y de mantenimiento cuantiosas.

Imagen 5

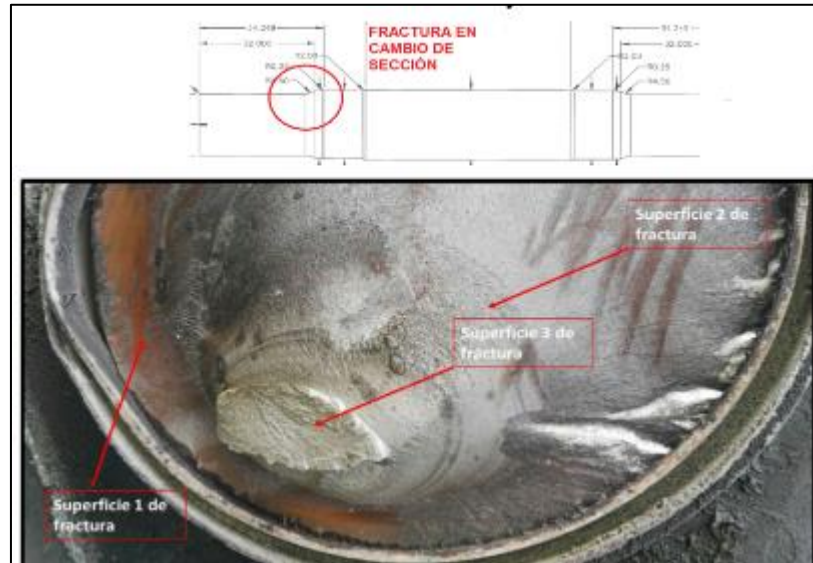
Fractura de eje de Polea 7 Faja Overland



Fuente propia: (Pérez, 2020)

Imagen 6

Fractura en Cambio de Sección de la Faja Overland

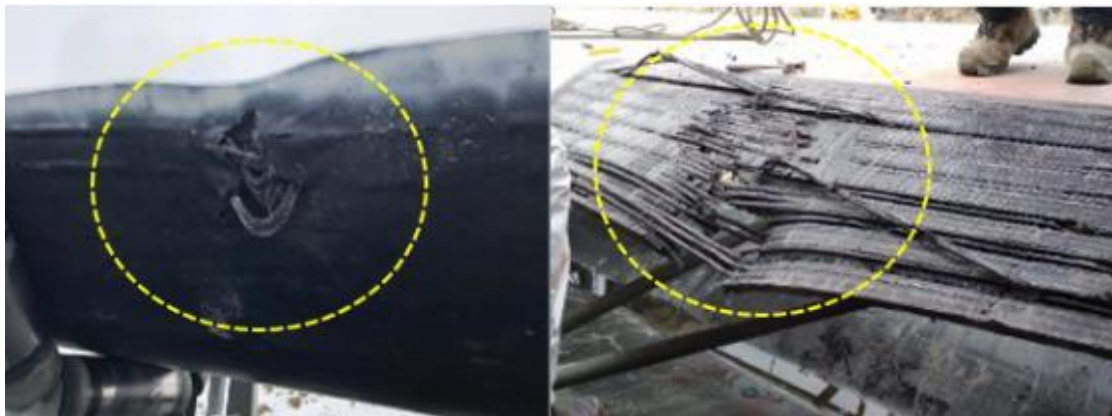


Fuente propia: (Pérez, 2020)

Otros de los problemas principales en la faja transportadora son sus fallas por rotura de cables y cortes de la faja, anomalías que ocasionan paradas prolongadas si es que no son detectadas a tiempo, ya que se debe contar con servicio externo especializado.

Imagen 7

Fallas por Corte de Banda y Cables de Faja Overland



Fuente propia: (Pérez, 2020)

Imagen 8*Falla de Rodamiento de Polea 8 Faja Overland*

Fuente propia: (Pérez, 2020)

2.2. Análisis del problema.

Los problemas principales en la faja Overland del área de Chancado Primario principalmente se dan por su baja disponibilidad y estas se deben por las pérdidas de horas en trabajos por mantenimiento.

2.2.1. Causas del problema**A. Alto índice y frecuencias de fallas**

Desde Enero a Noviembre del 2019 la faja overland es el equipo en el área de Chancado primario que presenta el menor tiempo medio entre fallas (MTBF 58.28 Hrs.) es decir cada 2.5 días se presentan fallas correctivas y esto se debe al alto índice y frecuencia de fallas las cuales se debe principalmente por problemas de cortes de fajas, desgaste de rodamientos de poleas, fallas en el arranque por el sistema hidráulico y por desgastes de engranajes en los reductores de transmisión CST, desgastes de polines etc.

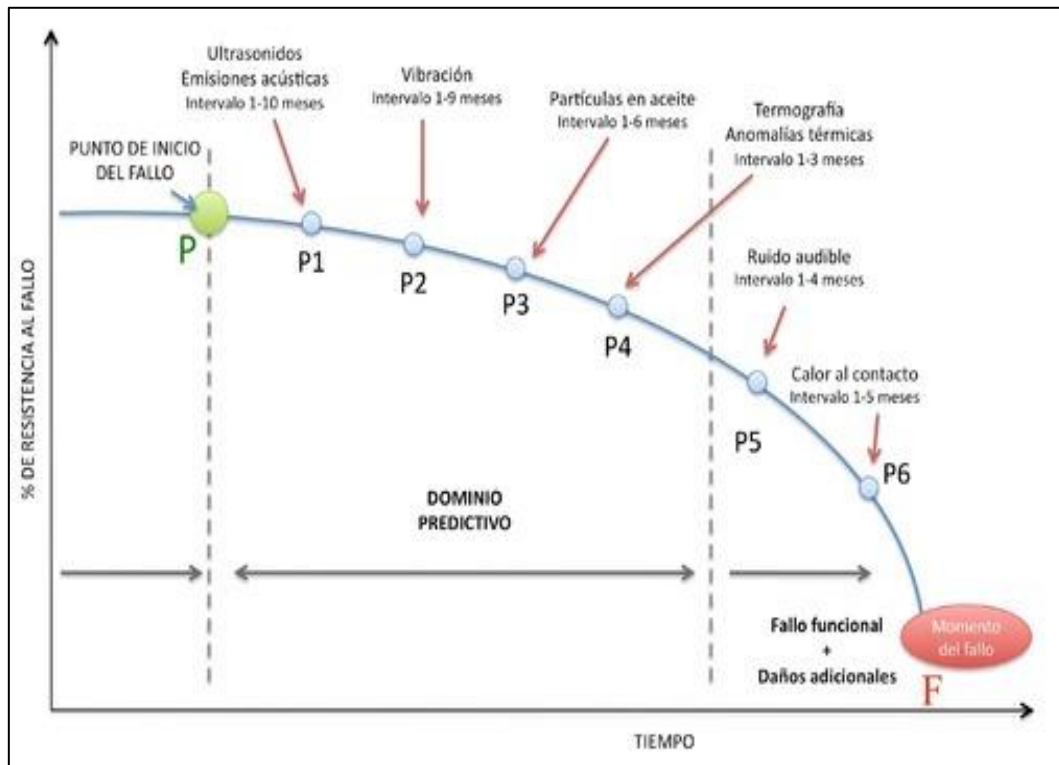
B. No se tiene detección temprana de fallas por mantenimiento predictivo.

Actualmente no se tiene implementado adecuadamente el monitoreo basado en condición de equipos o el mantenimiento predictivo y esto es da principalmente por los siguientes factores:

- Aplicación de Técnicas predictivas inadecuadas por tipo de modo de falla de cada componente. La banda de faja transportadora por dar un ejemplo requiere de inspecciones rutinarias por ultrasonido acústico en sus polines y complementado con termografía infrarroja, actualmente solo se realiza inspección visual lo cual no es suficiente para detectar fallas.
- Tecnologías predictivas inadecuadas que detecten de forma temprana las fallas, por citar un ejemplo existen inspecciones de fajas transportadoras con drones con cámaras termo gráficas y pueden usarse en las inspecciones de polines, chumaceras y bandas de las poleas a lo largo de los 5 kilómetros de la faja. Así mismo es necesario instalar en algunos componentes monitoreo de vibraciones online lo cual permita monitoreo vibraciones en tiempo real y ante algún incremento de vibración se envía una alarma para detener el equipo y evitar fallas mayores.
- Niveles de alarmas inadecuados no permiten reportar fallas de equipos anticipadamente, esto afecta en planificar los mantenimientos en paradas de plantas programadas.
- Falta implementar inspecciones del tipo sensorial al área de operaciones y mantenimiento que complemente al mantenimiento predictivo.
- Falta mejorar la fiabilidad en el diagnostico mediante la curva PF, gráfica la cual muestra el comportamiento de un equipo, maquina o componente, desde su entrada en servicio hasta el momento que presenta una falla que le impide seguir. Esta curva permite combinar varias técnicas predictivas para la detección más sensible de la falla en sus diferentes estados y hacer seguimiento idóneo dándole su máxima vida útil del equipo hasta antes de llegar a su falla funcional.

Imagen 9

Curva P-F Combinando técnicas Predictivas



Fuente: (Preditec, 2020)

A. Falta incluir o modificar planes de mantenimiento preventivo

Los planes de mantenimiento preventivo actuales no se cumplen al 100% y esto es reflejado en fallas correctivas recurrentes como paradas por fallas en instrumentos, filtros saturados, falta de lubricación por grasa, trabamientos y sobrecalentamientos de polines, desgaste prematuro de revestimientos de poleas, cortes de fajas etc.

Los planes de Mantenimiento preventivo actualmente no se han ejecutado adecuadamente ya que estas no se han elaborado con una herramienta potente como el mantenimiento centrado en la confiabilidad, los planes tienen frecuencias poco confiables ya que en muchos casos están realizados con frecuencias muy largas o cortas, faltan incluir tareas de inspecciones que den valor y los PMs de lubricación muchas veces no se cumplen y los mantenimientos predictivos inadecuados como se explicó anteriormente.

2.2.2. Variables e indicadores

Se determinaron las siguientes variables e indicadores:

Variable Dependiente	Indicadores
Perdida de Producción por baja disponibilidad en la faja transportadora del área de Chancado Primario de MNERA CHINALCO del Perú	– Disponibilidad
Variable Independiente	Indicadores
1. Alta frecuencia de fallas no programadas.	– Tiempo medio entre fallas MTBF:
2. Faltan implementar planes de Mantenimiento.	– Incremento de planes de mantenimiento con la implementación del RCM
3. Técnicas predictivas inadecuadas no se detectan fallas tempranas para evitar mantenimientos correctivos	

Fuente propia: (Pérez, 2020)

2.3. Objetivo del proyecto

2.3.1. Objetivo general

Desarrollar planes de Mantenimiento para la faja Overland del área de Chancado mediante la Implementación de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para la mejora de la disponibilidad, con el propósito de lograr incremento de la producción, y reducción de costos por mantenimiento.

2.3.2. Objetivos específicos

Implementando la herramienta del Mantenimiento centrado en la confiabilidad en la faja Overland se estarían logrando los siguientes objetivos:

- Incrementar la disponibilidad de la Faja Overland en un 96% de manera sostenible.
- Incremento del tiempo medio entre fallas (MTBF) de la Faja Overland a 720 horas mediante la disminución de frecuencia e índice de fallas.
- Desarrollar planes de mantenimiento (estrategias de mantenimiento) como: tareas de mantenimiento, que agrupadas forman el Plan de Mantenimiento (plasmadas en hojas de rutas, programa y plan en SAP), procedimientos operativos, tanto de producción como de mantenimiento, modificaciones o mejoras posibles, definición de una serie de acciones formativas realmente útiles y rentables para la empresa, determinación del stock de repuesto que es deseable que permanezca en Planta.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. Descripción y desarrollo del proyecto

Luego de conocer el capítulo anterior existen muchas deficiencias en los planes de mantenimiento de la faja Overland del área de Chancado y esto conlleva a alto índice y frecuencias de fallas, con la implementación de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad se pretende desarrollar planes de mantenimiento debidamente estructurados en la faja Overland.

Para la implementación del RCM MNERA CHINALCO contratará a una empresa especializada para la auditoria de la implementación, el gerente además deberá definir el grupo multidisciplinario de trabajo (especialistas o supervisores del área Mecánica, eléctrica, Instrumentación, control de procesos, operación y confiabilidad), este grupo serían los protagonistas del desarrollo del RCM a la faja Overland. La documentación que resulte de los análisis de mantenimiento centrado en confiabilidad sería:

- Diagramas de bloques mostrando los límites del sistema.
- Contexto operacional.
- Listado de funciones principales, secundarias y superfluas.
- Hojas de información (AMEF).
- Hojas de decisión con de las estrategias de mantenimiento con frecuencias y tareas “a falta de”.
- Integración de resultados.

Finalmente, los planes desarrollados deben ser plasmados en el programa SAP corporativo de la empresa, el área de Planeamiento de Mantenimiento creara las hojas de ruta y planes para programar las actividades de mantenimiento y finalmente se concluya el desarrollo del proyecto en el ciclo de gestión de mantenimiento.

La finalidad después de implementar el RCM en la faja Overland de chancado Primario es hacer un efecto de cascada a los equipos críticos de la planta concentradora.

3.1.1. Aplicación práctica de las herramientas de calidad

Para la identificación del problema en el área de Chancado Primario se analizaron los KPIs de los últimos tres años, se identificó cuál de los equipos de esta área presentaba menor disponibilidad y tiempo medio entre fallas; teniendo mayor impacto en la Producción de la planta de Chancado Primario de MCP, En tabla 5, 6 y 7 se puede observar que la faja Overland es el equipo que presenta menor disponibilidad de todos los sistemas de Chancado Primario y además un alto índice de fallas, así mismo donde han ocurrido fallas catastróficas las cuales han ocasionado costos cuantiosos por mantenimiento para la operación como se muestran en imágenes N°3, 4 y 5.

Una vez establecido el equipo del área de chancado que presenta menor disponibilidad se procede en analizar la información adquirida durante los últimos 3 años en el software de detenciones RMEs e información del SAP de minera Chinalco.

El software RMEs Data es una plataforma informática para la gestión de activos, el cual presenta una estructura de sus equipos críticos de planta y mediante un enlace con el sistema PI System de los equipos de la planta capta las detenciones con tiempos mayores a 10 minutos y el operador procederá a llenar información valiosa del motivo del evento y este será hasta un segundo nivel, el primero por Mantenimiento correctivo (Mecánico, eléctrico e instrumentación), Mantenimiento preventivo, Detención Programada, Detención no Programada, Causas externas y Detención en Línea y el segundo nivel el Modo de falla o detención los cuales ya serán definidos según históricos de fallas ocurridos en la planta o minas similares.

El RMEs Data es una herramienta además que calcula los KPIs principales como Disponibilidad, OEE, utilización, MTBF, MTTR, MTBS, Jack Knife calculados luego de realizado el ajuste de curvas para cada uno de los nodos seleccionados.

Así mismo para el estudio se recopiló información importante del software ERP SAP, donde se extrajeron órdenes de trabajo del tipo preventivo,

correctivos programados, no programados y lista de repuestos consumidos.

Imagen 10

Software RMEs Data de Minera Chinalco Perú S.A.

The screenshot displays the 'Registro de Defecciones' (Defect Register) window in the RMEs Data software. The interface includes a tree view on the left for equipment selection and a main table of records. The table columns are: Fecha Inicio Parada, Fecha Termino Parada, Duración, Código Equipo RMEs, Tipo, and Probo. The records are color-coded: red for 'Defección por Defección de Línea' (Line Defect), yellow for 'Defección por Defección de Línea' (Line Defect) and 'Defección Operacional No Programada' (Non-programmed Operational Defect), and blue for 'CHANCADORA PROGRAMADA' (Scheduled Crusher). A dropdown menu is open over the 'Tipo' column, showing options like 'CHANCADORA PROGRAMADA', 'Restricción Operacional', and 'Módulo DCRP'.

Fecha Inicio Parada	Fecha Termino Parada	Duración	Código Equipo RMEs	Tipo	Probo
02-08-2014 08:16:24	02-08-2014 13:20:09	05:23:45	200-CV-082	Defección por Defección de Línea	OPERARIO
02-08-2014 14:05:26	02-08-2014 16:51:43	02:46:17	200-CV-082	Defección por Defección de Línea	OPERARIO
04-08-2014 22:04:33	04-08-2014 22:22:06	00:17:33	200-CV-082	Defección por Defección de Línea	FALSA 2
02-08-2014 02:16:27	02-08-2014 02:26:42	00:10:15	200-CV-082	Defección por Defección de Línea	FALSA 2
02-08-2014 02:06:38	02-08-2014 02:09:57	00:03:19	200-CV-082	Defección por Defección de Línea	FALSA 2
02-08-2014 02:27:57	02-08-2014 02:28:12	00:00:15	200-CV-082	Defección por Defección de Línea	CHANCADORA PROGRAMADA
03-08-2014 12:22:31	03-08-2014 12:40:00	00:17:29	200-CV-082	Defección por Defección de Línea	CHANCADORA PROGRAMADA
04-08-2014 08:12:21	04-08-2014 10:45:26	02:33:04	200-CV-082	Defección por Defección de Línea	CHANCADORA PROGRAMADA
04-08-2014 13:22:20	04-08-2014 14:13:04	00:50:44	200-CV-082	Defección por Defección de Línea	CHANCADORA PROGRAMADA
04-08-2014 15:20:22	04-08-2014 15:45:53	00:25:31	200-CV-082	Defección por Defección de Línea	CHANCADORA PROGRAMADA
03-08-2014 03:18:21	03-08-2014 13:42:00	10:23:39	200-CV-082	Defección por Defección de Línea	CHANCADORA PROGRAMADA
01-08-2014 21:41:03	01-08-2014 21:48:00	00:06:57	200-CV-001	Defección por Defección de Línea	No configurado
05-08-2014 21:00:00	05-08-2014 21:15:00	00:15:00	200-CV-082	Defección por Defección de Línea	Amacador eléctrico
02-08-2014 21:15:02	02-08-2014 21:48:24	00:33:24	200-CV-001	Defección por Defección de Línea	No configurado
08-08-2014 09:09:08	08-08-2014 11:43:44	02:34:36	200-CV-082	Defección por Defección de Línea	OPERARIO
08-08-2014 12:04:22	08-08-2014 13:02:53	00:58:31	200-CV-082	Defección por Defección de Línea	CHANCADORA PROGRAMADA
08-08-2014 22:21:02	08-08-2014 22:26:58	00:05:56	200-CV-001	Defección por Defección de Línea	No configurado
08-08-2014 02:04:28	08-08-2014 02:07:48	00:03:18	200-CV-001	Defección por Defección de Línea	No configurado
02-08-2014 02:06:42	02-08-2014 02:12:12	00:05:30	200-CV-001	Defección por Defección de Línea	No configurado

Fuente propia: (Pérez, 2020)

Imagen 11
Software ERP SAP de Minera Chinalco

The screenshot displays the SAP interface for a technical structure. The title bar reads 'Repr.estructura ubicación técnica: Lista de estructura'. The main content area shows a tree view of technical objects under the location 'TOR-CON-210' and denomination 'MOLIENDA Y CLASIFICACION'. The objects are organized into several levels, including primary grinding (MOLIENDA PRIMARIA SAG) and ball mill systems (SISTEMA DE ALIMENTACION DE BOLAS SAG).

Ubicación técnica	TOR-CON-210	Válido de	02.07.2021
Denominación	MOLIENDA Y CLASIFICACION		
▼ TOR-CON-210	MOLIENDA Y CLASIFICACION	AREA 210	
▶ 1007705	OLYMPUS - EPOCH600 N°1	EPOCH600-1	
▶ 1007706	OLYMPUS - EPOCH600 N°2	EPOCH600-2	
▶ 1007707	EMERSON CSI 2140 N°1	CSI2140-1	
▶ 1007708	EMERSON CSI 2140 N°2	CSI2140-2	
▼ TOR-CON-210-01	MOLIENDA PRIMARIA SAG		
▶ TOR-CON-210-01-01	CHUTE DE ALIMENTACION AL SAG	210-CH-008	
▶ TOR-CON-210-01-02	CHUTE DE DESCARGA DEL TROMMEL SAG	210-CH-010	
▶ TOR-CON-210-01-03	TROMMEL DE DESCARGA	210-TR-001	
▶ TOR-CON-210-01-04	SISTEMA DE LUBRICACION MOLINO ML-001	210-LU-001	
▶ TOR-CON-210-01-05	SISTEMA HIDRAULICO DE FRENO	210-HP-005	
▶ TOR-CON-210-01-06	SISTEMA DE ENGRASE		
▶ TOR-CON-210-01-07	SISTEMA CICLO CONVERTIDOR SAG	210-VS-001	
▶ TOR-CON-210-01-08	SISTEMA ANILLO DE MOTOR SAG	210-ML-001-M	
▶ TOR-CON-210-01-09	SALA ELECTRICA 210-ER-011	210-ER-011	
▶ TOR-CON-210-02	SISTEMA DE ALIMENTACION DE BOLAS SAG		
▶ TOR-CON-210-03	ZARANDAS MOLIENDA PRIMARIA		
▶ TOR-CON-210-04	FAJA TRANSPORTADORA 210-CV-001		
▶ TOR-CON-210-05	FAJA TRANSPORTADORA 210-CV-004		
▶ TOR-CON-210-06	FAJA TRANSPORTADORA 210-CV-005		
▶ TOR-CON-210-07	FAJA TRANSPORTADORA 210-CV-006		
▶ TOR-CON-210-08	TORRE DE ENFRIAMIENTO MOLINO SAG	210-CT-002	
▶ TOR-CON-210-09	PUENTE GRUA MOLINOS 210-CN-002		
▶ TOR-CON-210-10	EQUIPOS AUXILIARES DE MANTENIMIENTO	210-GC-004	
▶ TOR-CON-210-11	ALIMENTACION Y BYPASS CHANC PEBBLES		
▶ TOR-CON-210-12	CHANCADORA DE PEBBLES #1		
▶ TOR-CON-210-13	CHANCADORA DE PEBBLES #2		
▶ TOR-CON-210-14	BOMBAS SUMERGIBLES PEBBLES		
▶ TOR-CON-210-15	PUENTE GRUA PEBBLES 210-CN-003		
▶ TOR-CON-210-16	GRUAS Y MONORRIELES PEBBLES		
▶ TOR-CON-210-17	ALIMENTACION DE BOLAS MOLINOS		
▶ TOR-CON-210-18	MOLINO DE BOLAS ML-002		
▶ TOR-CON-210-19	MOLINO DE BOLAS ML-003		

Fuente propia: (Pérez, 2020)

Posteriormente se proceden a usar las matrices de selección del problema con una lista de tormentas de ideas, el gráfico de Ishikawa con su matriz de identificación de la causa directa y factible y también se complementó con la metodología de los 5 Por Qué.

3.2. Matriz de selección del problema

3.2.1. Investigación análisis e identificación del problema

Para realizar el análisis de las causas del problema “Baja disponibilidad por alto índice y frecuencia de fallas” se utiliza la información del software de detenciones RMES y con el gráfico de Pareto y Jack Knife

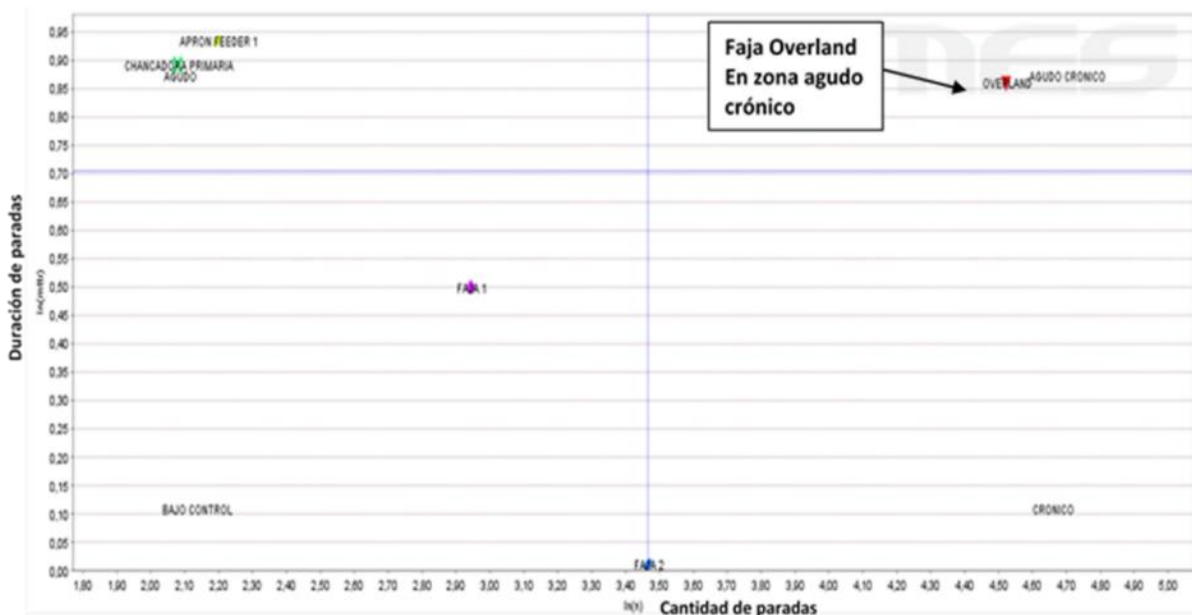
se confirma que la faja Overland es el equipo que presenta mayores incidencias de fallas en el área de Chancado Primario, razón principal para ser analizado dicho equipo.

A. Ubicación del Problema

Tras identificar menor disponibilidad y tiempo medio entre fallas en la faja Overland 200-CV-003; del área de Chancado Primario se analizó el Gráfico N°2 Jack Knife desde Enero a Noviembre del 2019 y este nos confirma que la faja transportadora Overland se encuentra en la zona agudo crónico (zona de mayor atención), este grafico extraído del software RMES nos indica que la faja es el equipo con mayor número de fallas y tiempo de detención y por lo tanto necesita ser analizado para corregir su causa raíz del problema.

Gráfico 1

Jack Knife de Equipos del Área de Chancado



Fuente: (Software RMS, 2021)

A. Identificación de causas y/o Sub Causas

Para el análisis de la causa de los problemas en la Faja Overland se creó un grupo multidisciplinario y se realizó una lista de tormentas de ideas las cuales se ordenaron según el diagrama de Ishikawa (máquina, mano de obra, métodos y medición), teniendo como problema de la cabeza de

pescado la baja disponibilidad en la faja Overland de chancado primario. A continuación, se presentan la lista de tormentas de ideas y el gráfico de Ishikawa con su matriz de identificación de la causa directa y factible y también se complementó con la metodología del 5 por que para identificar la causa del problema.

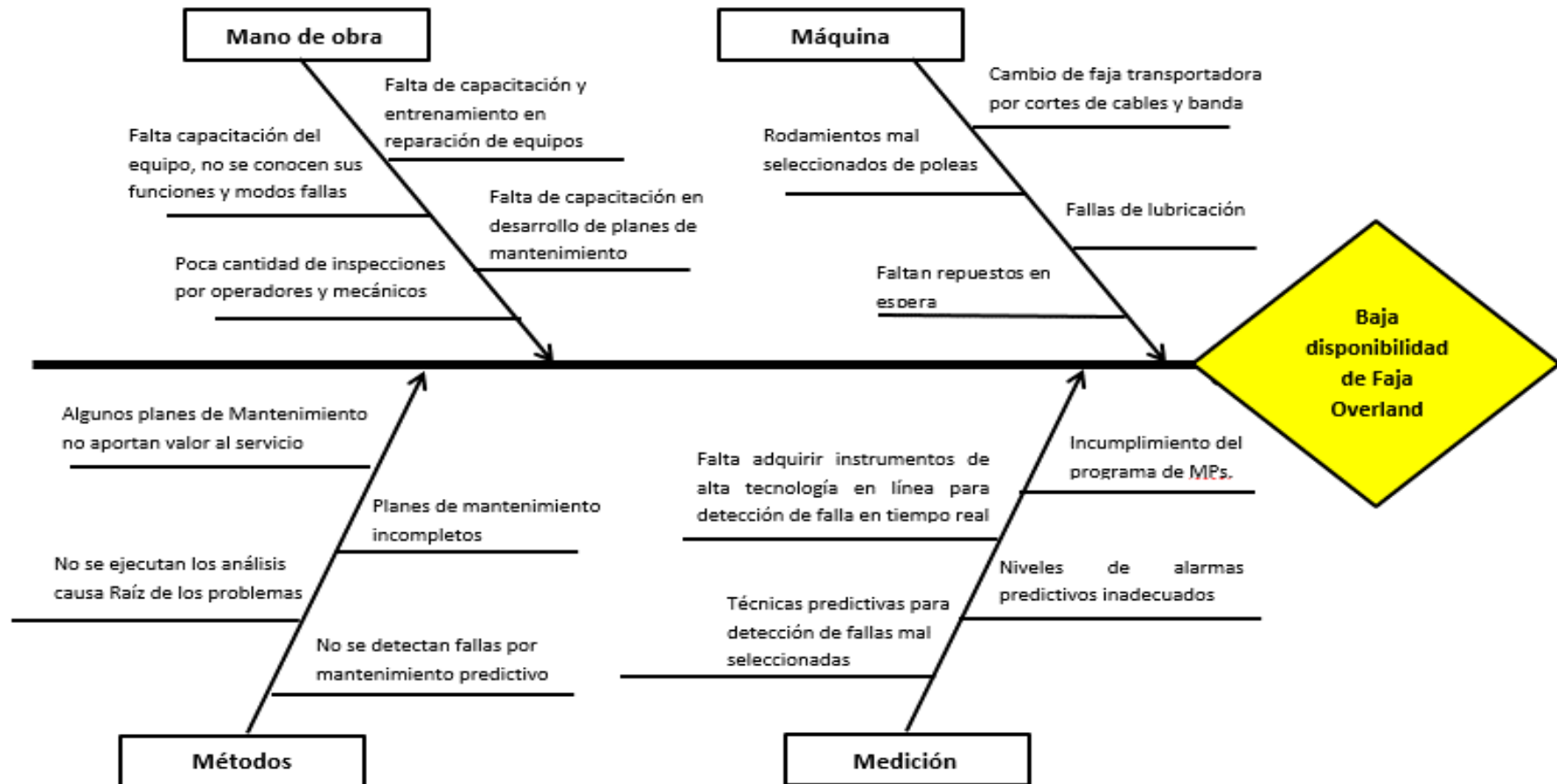
B. Tormenta de ideas

- Fallas en la faja por cortes de banda y cables.
- Fallas por instrumentación en el arranque
- Aparadas por problemas de lubricación
- Los planes de mantenimiento no están bien definidos
- No hay capacitación del personal para corregir adecuadamente los mantenimientos correctivos.
- Fallas continuas en rodamientos de poleas
- Nos e conocen sus funciones y modos de fallas de los componentes, falta entrenamiento.
- No se ejecutan la causa raíz de las fallas
- Planes de mantenimiento y procedimientos incompletos
- Nos e detectan fallas por mantenimiento predictivo
- Las técnicas predictivas usadas son las inadecuadas
- Las tecnologías aplicadas de MPd están obsoletas.
- Niveles de alarma inadecuadas
- Incumplimiento del programa semanal de mantenimiento preventivo y falta personal para labores de lubricación.
- No se cuenta con sistema de monitoreo en línea de vibraciones.
- Los alineamientos en lado de eje de baja velocidad se realizan con procedimiento inadecuado.

C. Diagrama Ishikawa

Imagen 12

Diagrama Ishikawa para la Faja Overland



Fuente: (Pérez, 2020)

D. Identificación de la causa Principal y factible

Tabla 6

Matriz de la Identificación de la Causa Directa y Factible M/M

CAUSAS	SOLUCIONES			CRITERIOS				TOTAL
Método	Solución	Factor	Causa directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Planes de MP incompletos	Implementar la metodología del RCM	3	3	3	3	3	2	17
Algunos planes de MP no aportan al servicio	Implementar la metodología del RCM	1	2	3	3	3	1	13
No se detectan fallas por Mantenimiento Predictivo	Implementar la metodología del RCM	3	3	3	3	3	2	17
No se ejecuta los análisis causa raíz de las fallas	Implementar la metodología ACR	1	2	1	3	3	2	12
Maquinaria	Solución	Factor	Causa directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Cambio de faja transportadora por cortes en faja y cables	Cambio de faja transportadora de mejor calidad	1	1	2	1	2	0	7
fallas de lubricación	Implementar lubricación de clase mundial	1	1	1	2	2	1	8
Rodamientos mal seleccionados de poleas	Cambio de rodamientos sellados de mejor calidad	1	1	1	2	1	0	6
falta de repuestos en espera	Análisis de criticidad de repuestos	1	1	1	2	1	0	6

Fuente: (Pérez, 2020)

Tabla 7
Matriz de la Identificación de la Causa Directa y Factible M/M

CAUSAS	SOLUCIONES			CRITERIOS				TOTAL
Mano de Obra	Solución	Factor	Causa directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Falta de capacitación en funciones y modos de fallas	Implementar la metodología del RCM incluyendo capacitación	2	2	2	3	2	2	13
Falta de entrenamiento en reparación de equipos	Capacitación por fabricantes de componentes	2	1	1	2	1	2	9
Falta capacitación en el desarrollo de planes de mantenimiento	Implementar la metodología del RCM incluyendo capacitación	3	3	3	3	2	2	16
Poca cantidad de inspecciones por operadores y mecánicos	Implementar la metodología del RCM incluyendo capacitación	2	2	2	2	2	2	12
Medición	Solución	Factor	Causa directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Falta adquirir instrumentos de monitoreo en línea para detección de fallas en tiempo real	Adquisición de monitoreo en línea de vibraciones y temperatura	2	2	1	1	2	1	9
Incumplimiento del programa de MP	Seguimiento de los KPIs de MP	1	1	1	3	2	2	10
Niveles de alarma predictivos inadecuados	Implementar la metodología del RCM	2	1	1	3	3	2	12
Técnicas predictivas para detección de fallas mal seleccionadas	Implementar la metodología del RCM	3	2	2	3	3	2	15

Fuente: (Pérez, 2020)

E. Determinación de la Mejora

Una vez realizada la matriz de causa raíz directa y factible de las soluciones planteadas se concluyó que, de las 16 soluciones planteadas, las 8 primeras soluciones con mayor puntaje se refieren a implementar la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad ya que son los factores que llevan al problema, son las causas directas del problema y además con sus soluciones atacan directamente al problema.

Tabla 8*Matriz Para Identificar las Soluciones Directas y Factibles*

ITEM	CAUSAS	SOLUCIONES	CRITERIOS						TOTAL
			Factor	Causa directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
1	Planes de MP incompletos	Implementar la metodología del RCM	3	3	3	3	3	2	17
2	No se detectan fallas por Mantenimiento Predictivo	Implementar la metodología del RCM	3	3	3	3	3	2	17
3	Falta capacitación en el desarrollo de planes de mantenimiento	Implementar la metodología del RCM	3	3	3	3	2	2	16
4	Técnicas predictivas para detección de fallas mal seleccionadas	Implementar la metodología del RCM	3	2	2	3	3	2	15
5	Falta de capacitación en funciones y modos de fallas	Implementar la metodología del RCM	2	2	2	3	2	2	13
6	Poca cantidad de inspecciones por operadores y mecánicos	Implementar la metodología del RCM	2	2	2	2	2	2	12
7	Niveles de alarma predictivos inadecuados	Implementar la metodología del RCM	2	1	1	3	3	2	12
8	Algunos planes de MP no aportan al servicio	Implementar la metodología del RCM	1	1	1	3	3	2	11
9	No se ejecuta los analisis causa raiz de las fallas	Implementar la metodología ACR	1	2	2	2	2	2	11
10	Incumplimiento del programa de MP	Seguimiento de los KPIs de MP	1	1	1	3	2	2	10
11	Falta de entrenamiento en reparación de equipos	Capacitación por fabricantes de componentes	2	1	1	2	1	2	9
12	Falta adquirir instrumentos de monitoreo en línea para detección de fallas en tiempo real	Adquisición de monitoreo en línea de vibraciones y temperatura	2	2	1	1	2	1	9
13	fallas de lubricación	Implementar lubricación de clase mundial	1	1	1	2	2	1	8
14	Cambio de faja transportadora por cortes en faja y cables	Cambio de faja transportadora de mejor calidad	1	1	2	1	2	0	7
15	Rodamientos mal seleccionados de poleas	Cambio de rodamientos sellados de mejor calidad	1	1	1	2	1	0	6
16	falta de repuestos en espera	Análisis de criticidad de repuestos	1	1	1	2	1	0	6

Fuente: (Pérez, 2020)

F. MÉTODO DE LOS 5 PORQUÉS

Como complemento del análisis se determinó la metodología de los 5 porqués para poder hallar la causa raíz al problema de la baja disponibilidad del área de chancado primario de MNERA CHINALCO Perú.

Tabla 9

Aplicación del Método de los 5 Por Que

BAJA DISPONIBILIDAD EN EL ÁREA DE CHANCADO PRIMARIO	CAUSAS
¿Por qué esta baja la disponibilidad de chancado Primario?	Porque de los 5 equipos que trabajan en serie, la faja overland presenta menor disponibilidad.
¿Por qué la faja overland presenta baja disponibilidad?	La disponibilidad es muy baja porque se tienen muchas horas de mantenimiento correctivos no programados y los Mantenimientos Preventivos dan poco valor para evitar fallos.
¿Por qué hay muchas horas de mantenimiento correctivos y las estrategias de mantenimiento preventivo dan poco valor al mantenimiento?	Existen muchas horas de Mantenimiento correctivo por no tener MPs adecuados principalmente en inspecciones para búsqueda de fallas ya sea por mantenimiento predictivo, inspecciones mecánicas u operaciones. Se tiene poco aporte del Mantenimiento preventivo por no optimizar algunas actividades de mantenimiento y por falta la inclusión de estrategias de MPs que se enfoquen en evitar fallas y como consecuencia excesivas horas en mantenimientos correctivos no programados.
¿Por qué no tenemos bien implementadas las actividades de mantenimiento (inspecciones (predictivas, mecánicas y operadores, planes de mantenimiento de sustitución etc.)	No se tiene bien implementadas las actividades de mantenimiento debido a que el personal del área de mantenimiento en MCP no cuentan con la calificación correcta para elaborar las actividades de Mantenimiento bajo una metodología bien estructurada
¿Por qué el personal de mantenimiento en MCP no está capacitado y cuál es la metodología que se debe aplicar para tener estrategias adecuadas de mantenimiento?	El personal no está calificado por falta de decisión de la gerencia de mantenimiento en implementar el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) dentro de su Gestión de Mantenimiento

Fuente: (Pérez, 2020)

En la **Tabla 9** se puede concluir que la causa de una baja disponibilidad es por no tener bien implementadas y estructuradas las actividades de mantenimiento por falta de capacitación del personal en la metodología del RCM.

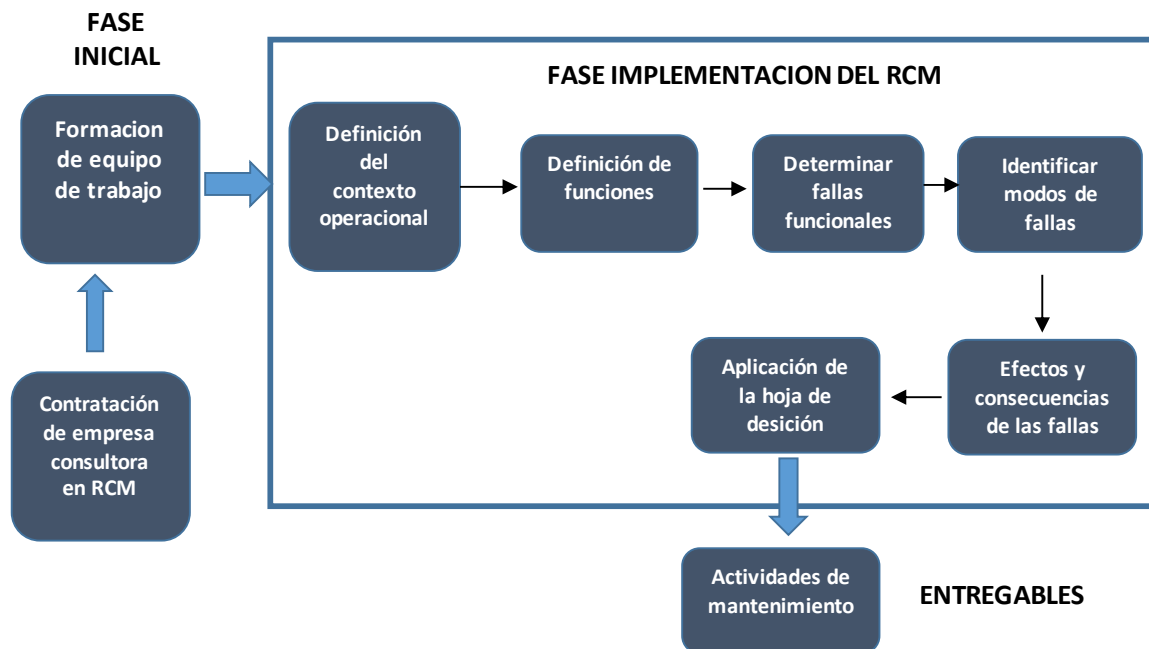
3.3. Proceso de la implementación del RCM

Para que MINERA CHINALCO PERU implemente el RCM requerirá contratar una solución externa (empresa especializada en la implementación del RCM) por un periodo de 1 mes, para el servicio de “Facilitar y capacitador del Desarrollo de Planes de Mantenimiento de Faja Overland mediante la Metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”. El Contratista deberá brindar el servicio dentro de la operación minera y en las Oficinas de Lima, cuando se requiera y además se formará un equipo multidisciplinario de la empresa MCP de varias disciplinas en mantenimiento y operaciones (técnico o ingeniero con experiencia en las especialidades de operación, control de procesos, mecánica, electricidad e instrumentación).

El presente proyecto indicara todas las etapas de la implementación del RCM, el cual se inicia desde la etapa de contratación de una empresa consultora especializada y formación del equipo de trabajo, la segunda parte se refiere a las fases del proceso de la metodología del RCM definiendo el contexto operacional del equipo en estudio y se prosigue con las 5 preguntas lógicas del análisis modo y efecto e falla (AMEF) y finalmente se entregan las actividades al ser implementadas en el plan de mantenimiento.

Imagen 13

Proceso de la Implementación del RCM



3.3.1. Contratación de empresa consultora del RCM

A. Alcance del servicio

MCP requiere contratar una solución externa por un periodo de 2 meses, para el servicio de “Facilitar el Desarrollo de Planes de Mantenimiento de Faja Overland mediante la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”.

B. Entregables del servicio

La documentación que resulte de los análisis de mantenimiento centrado en confiabilidad, incluyendo:

- Capacitación en RCM.
- Diagramas de bloques mostrando los límites del sistema.
- Contexto operacional.
- Listado de funciones principales, secundarias y superfluas.
- Hojas de información (AMEF).
- Hojas de decisión con de las estrategias de mantenimiento con frecuencias y tareas “a falta de”.

- Integración de resultados.

C. Especificaciones técnicas del servicio

- Para el desarrollo de la facilitación, se tomará como referencias específicamente, la metodología utilizada debe seguir todos los principios de libro "Reliability Centered Maintenance RCM" de John Moubray cumpliendo a cabalidad con las normas SAE referenciadas.
- Brindar el servicio de "Facilitar el Desarrollo de Planes de Mantenimiento de Equipos de la Planta Concentradora mediante la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad – RCM".
- Brindar el Curso de Entrenamiento "Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM".

D. Experiencia en servicios similares

El postor deberá incluir cartas de referencia de los servicios principales.

- Demostrar más de 15 años de experiencia de la empresa en el sector de la gestión de mantenimiento.
- Tener consultores certificados por el Institute Asset Management (IAM) y The Certified Maintenance & Reliability Professional (CMRP).
- Demostrar contar con experiencia en el entrenamiento, divulgación, facilitación y asesoría en la metodología RCM.
- Demostrar contar con experiencia en asesoría, desarrollo y acompañamiento de procesos RCM en el sector Minero, específicamente en procesos Auríferos.
- Relación de clientes actuales o a los que hayan atendido con servicios similares durante los últimos (5) años, indicar persona de contacto del cliente o contratante.

3.3.2. Formación del equipo natural de trabajo

La formación básica del equipo natural de trabajo para la implementación del RCM será por:

- Facilitador: Asesor metodológico externo

- Miembros: Especialistas de áreas específicas de mantenimiento y operaciones.
- Líder: Persona encargada en tomar decisiones para implantación de resultados.

3.4. Fases de la implementación del RSCM

Las fases de la implementación del RCM se refieren específicamente, a la metodología utilizada seguida a los principios de libro "Reliability Centered Maintenance RCM" de John Moubray cumpliendo a cabalidad con las normas SAE JA 1012-2002.

3.4.1. Definición del contexto operacional de la faja Overland

La faja Overland transporta el mineral una distancia de 5190m a una velocidad de 6m/s, durante el trayecto asciende dos curvas verticales y horizontales, por ello el sistema está diseñado con 4 conjuntos motor-reductor CST, el cual inicial la secuencia y va embragando de uno en uno para dar el movimiento sincronizado a la faja transportadora y estos son capaces de cubrir el arranque con carga y del arranque en modo de energía regenerativas.

Los motores están conectados a cuatro unidades CST Dodge y PLC controlados por frenos de velocidad las unidades fueron dimensionados para suministrar la potencia necesaria para arrancar la faja cargada solo en las secciones de subida, lo que requerirá aproximadamente 8700kW. Con las secciones de bajada la faja transportadora se regenerará aproximadamente 6700kW.

Imagen 14

Esquema de la Faja Overland Equipo a Implementar el RCM



Fuente: (Pérez, 2020)

Imagen 15

Vista Área de la Instalación



Fuente: (Pérez, 2020)

Así mismo se muestra la imagen 12 el diagrama funcional del equipo en estudio la faja (200CV003) donde se puede visualizar que el diagrama se inicia desde planta concentradora, chancado primario, faja 200CV003, sistemas, componentes y finalmente llega a la función del componente.

Imagen 16

Diagrama Funcional de la operación de la Minera Chinalco



Fuente: (Pérez, 2020)

3.4.2. Definir funciones

Es necesario incluir las funciones primarias y las secundarias.

Una función bien descrita debe cuantificar el estándar de funcionamiento deseado, no el de diseño.

El facilitador, para obtener la lista de funciones, usa la lista de tipos de funciones: ecología, control, comodidad, seguridad, protección, calidad, economía entre otros. Las funciones deben tener siempre un parámetro, como mínimo, que exprese “el querer” o la necesidad de la organización (Moubray, 2004).

Si citamos como ejemplo de la Imagen 12 podemos decir que el reductor CST (componente de la faja Overland) tiene un sistema hidráulico el cual tiene una función primaria de acoplar y desacoplar el embrague.

3.4.3. Determinar fallas funcionales

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 (Moubray, 2004).

Para redactar las fallas funcionales debe tenerse en cuenta:

- Deber mostrar su función e indicar tanto la pérdida total o la parcial por falla tras no alcanzar un estándar especificado.
- Deben registrarse funciones asociadas.
- Se debe evitar colocar la palabra “falla” en la falla funcional, ya que se puede confundir con un modo de falla, y recordar siempre que debe hacerse la verificación de que cada parámetro esté referido como una pérdida de función (Moubray, 2004).

Para citar un ejemplo en la imagen 12 se muestra que una de las fallas funcionales de sistema hidráulico es: no suministrar aceite de alta presión entre 840 y 950 psi.

Imagen 17

Hoja de Información de Falla Funcional en el Sistema Hidráulico

HOJA DE INFORMACIÓN RCM2		ELEMENTO: <i>Faja Overland 200-CV003</i>	
		COMPONENTE: <i>Sistema hidráulico de alta presión del reductor CST</i>	
FUNCIÓN		TIPO DE FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL
1	Suministrar aceite de alta presión entre 840 y 950 psi	Función primaria	A No suministra aceite de alta presión entre 840 y 950 psi

Fuente: (Pérez, 2020)

3.4.4. Identificar los modos de fallas

Cuando se quieren identificar los modos de falla, es necesario que el grupo multidisciplinario al hacer la pregunta del “por qué” sean las adecuadas para llegar al modo adecuado y además deben ser de manera proactiva.

Se deben incluir causas que generan fallas donde:

- Hayan pasado en la empresa actual u otra similar preferentemente en equipo similar del rubro minero.
- Analizar si pueden ocurrir en algún momento
- Si el manual del equipo lo indica como modo de falla.
- Si al ocurrir la falla sus consecuencias sean muy severas, aunque aún se tengan probabilidades muy bajas.

Para citar un ejemplo en la **Imagen 17** se muestra que del sistema hidráulico mencionado anteriormente se presentan 3 tipos de modos de falla: por eje de bomba fatigado, rodamiento de bomba en mal estado y válvula check B2 en falla.

Imagen 18

Hoja de Información de Modo de Falla en el Sistema Hidráulico

HOJA DE INFORMACIÓN RCM2		ELEMENTO: <i>Faja Overland 200-CV003</i>		Fecha inicial	
		COMPONENTE: <i>Sistema hidráulico de alta presión del reductor CST</i>		<i>23/11/2019</i>	
				Fecha final	
				<i>01/12/2019</i>	
FUNCIÓN		TIPO DE FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	
1	Suministrar aceite de alta presión entre 840 y 950 psi	Función primaria	A No suministra aceite de alta presión entre 840 y 950 psi	1	<i>Eje de accionamiento de bombas fatigado</i>
				2	<i>Bomba de alta con rodamientos fatigados</i>
				3	<i>Valvula check B2 falla en posición abierta</i>

Fuente: (Pérez, 2020)

3.4.5. Efectos y consecuencias de las fallas

Los efectos y consecuencias de las fallas deben describir qué ocurriría si es que el equipo hubiera presentado una falla total o parcial.

En este punto debe tenerse en cuenta:

- Los efectos deben describir los sucesos posibles posteriores a la falla.
- Sólo deben relatarse los hechos, sin contener calificaciones o evaluación.
- Los efectos deben estar suficientemente detallados para expresar las consecuencias de forma rápida y fácil.
- Las preguntas que se deben hacer son las siguientes:
 - a) ¿Qué evidencia hay de que se ha producido la falla?
 - b) ¿Plantea una amenaza para la seguridad o el medio ambiente?
 - c) ¿Cómo afecta la producción?
 - d) ¿Produce algún daño secundario?
 - e) ¿Qué debe hacerse para repararlo?

3.4.6. Aplicación de la hoja de decisión

Una vez que el análisis está en camino, el papel clave del facilitador es hacer las preguntas requeridas por el proceso RCM. En este punto, es esencial evitar cualquier tendencia a saltar las preguntas o presumir respuestas. En particular debe tener cuidado de no empezar ignorando o saltando las preguntas de los cuadros de la derecha del diagrama de decisión.

Para contestar las siguientes 3 preguntas del RCM:

- a) ¿En qué sentido es importante cada falla?
- b) ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- c) ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Se apoya en una hoja de decisión que tiene como soporte el diagrama de decisión de RCM, este diagrama de decisión se muestra en la imagen 13 y se hacen preguntas para llegar a las siguientes tareas propuestas:

A. Tareas Proactivas (Preventivas)

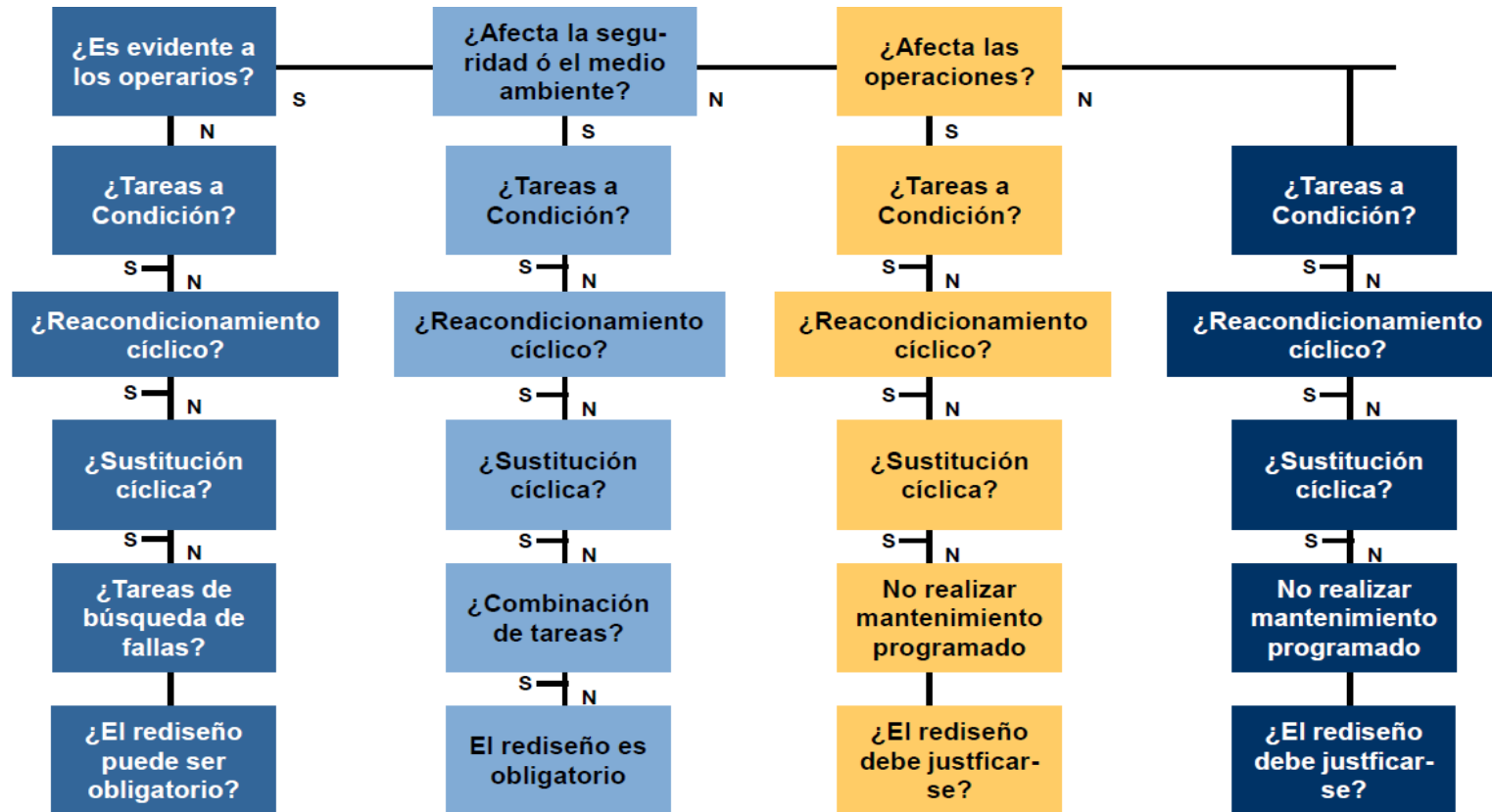
- Tareas a condición
- Tareas de reacondicionamiento cíclicas
- Tareas de sustitución cíclicas
- Búsqueda de fallas ocultas

B. Tareas reactivas

- Rediseño
- Ningún mantenimiento Preventivo (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2012) En Anexo C se muestra el formato y resultado de la elaboración de la hoja de decisión del RCM.

Imagen 19

Diagrama de Decisión del RCM



Fuente: (Moubray, 2004)

3.4.7. Entrega del Plan de Mantenimiento de faja Overland

Luego de tener la hoja de decisión RCM, la organización de mantenimiento y específicamente el departamento de confiabilidad, deberá implementar un formato para plasmar las estrategias de mantenimiento que resultaron de la metodología RCM.

Este formato tiene como fin asignar a las estrategias los recursos requeridos tales como mano de obra por especialidad, repuestos, componentes, equipos auxiliares de apoyo, procedimientos, instructivos, permisos, etc. y refleja los costos asociados que son la base para la realización del presupuesto. Esta hoja del plan de mantenimiento es la fuente para cargar las tareas a nuestro ERP (SAP) y se puede apreciar en el anexo D.

En la Imagen 14 se muestra la Hoja de ruta y el plan creado en SAP para la carga de las estrategias, es aquí cuando recién se culmina el trabajo de la implementación de la metodología además de hacer revisiones anuales para ajustar frecuencias y recursos reales según las experiencias de los trabajos realizados.

Imagen 20
Hoja de Ruta en SAP ERP

Modificar posición del plan-manten.: Lista de posiciones de mantenimie

Cantidad de entradas (sin filtro): 103

	5	R.MantPv	Fas.FM	Fas. GrpRuta	CRH	TipHR	Estrategia	Campo de clasificación	Denominación de objeto técnico	Tp.plnra	Clorden	AMa	Descripción posición de mantenimiento	Pto.Orig. resp.
			1635				SEM-EL	200-CV-003-04	MOTOR ELEC. WEG. MCF8006,3600W/9,1789 RPM	PN	PM02	Z03	PNP ARRANCADOR 200-CV-003_04	MECH001
	2239	4640	1	200CV003	47	A		200-CV-003	FAJA TRANSPORTADORA CV-003	PN	ZM02	Z17	INSP MEC SEM FAJA TRANSPORTADORA CV003	MECH001
	2347	4648	1	200CV003	48	A		200-CV-003	FAJA TRANSPORTADORA CV-003	PN	ZM02	Z17	INSP MEC SEM CAMBIO POLINES CV003	MECH001
	3133	7580	1	200CV003	49	A	MESJ	200-CV-003	FAJA TRANSPORTADORA CV-003	PN	ZM02	Z17	PN Cambio Pastillas freno RH	MECH001
	4983	12406	1	200CV003	50	A		200-CV-003	FAJA TRANSPORTADORA CV-003	PN	ZM02	Z17	PN Cambio polines, raso. y alti. CV003	MECH001
	5517	12295	7	ST5000	5	A		200-CV-003	FAJA TRANSPORTADORA CV-003	PN	ZM02	Z17	PN REGULACION RASPADOR PRIMARIO/SECUNDO	MECH001
	5518	13296	1	ST5000	6	A		200-CV-003	FAJA TRANSPORTADORA CV-003	PN	ZM02	Z17	INSPECCION FALDEBRAS (LIMITED)	MECH001
	5641	13696	1	200CV003	52	A		200-CV-003	FAJA TRANSPORTADORA CV-003	PN	ZM02	Z17	PN Cambio de zapatas de freno CV003	MECH001
	6201	18501	1	200CV003	54	A		200-CV-003	FAJA TRANSPORTADORA CV-003	PN	ZM02	Z17	PN Change steel cord belt 200-CV003	MECH001
	6302	17165	1	200CV003	55	A		200-CV-003	FAJA TRANSPORTADORA CV-003	PN	ZM02	Z17	PN Cambio liners chute positor CV003	MECH001
	6855	19981	1	200CV003	56	A		200-CV-003	FAJA TRANSPORTADORA CV-003	PN	ZM02	Z17	PN Ins/Seb. winche faja Overland CV003	MECH001
	7015	20545	1	200CV003	57	A		200-CV-003	FAJA TRANSPORTADORA CV-003	PN	ZM02	Z17	PN Cambio hojas de raspadores 200-CV003	MECH001
	7123	21499	1	200CV003	59	A		200-CV-003	FAJA TRANSPORTADORA CV-003	PN	ZM02	Z17	PN Cambio bomba sistema Rating CV003	MECH001

Fuente: (Software RMS, 2021)

3.4.8. Cronograma de la implementación

El cronograma de la implementación del RCM se ejecutará en 32 días efectivos aproximadamente, el cual se inicia desde el entrenamiento al equipo RCM, posteriormente se inicia la implementación del proceso del RCM y finalmente la presentación de los resultados a la gerencia y VP de operaciones.

Tabla 10

Cronograma de la Implementación del RCM

EQUIPO	Actividades	TIEMPO (Días Útiles)																																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32			
	A. Entrenamiento a todo el Equipo en RCM	■	■	■	■	■																														
FAJA TRANSPORTADORA OVERLAND	1. Definir nivel de Analisis y Contexto Operacional						■	■	■																											
	2. Listar Funciones									■	■	■																								
	3. Definir las Fallas Funcionales											■	■	■																						
	4. Listar los Modos de Falla													■	■	■																				
	5. Listar los Efectos de las Fallas																■	■	■																	
	6. Evaluar Consecuencias de fallas																					■	■													
	7. Seleccionar las tareas de rutina para cada modo de falla																						■	■	■											
	8. Describir las tareas adecuadamente																							■	■											
	9. Auditoria a las Hojas RCM																								■	■	■									
	10. Cargar la informacion RCM en SAP																																	■	■	
	B. Presentación a la Gerencia y VP Operaciones																																		■	■

3.4.9. Costo de la implementación

Los costos se refieren principalmente a la contratación del personal consultor para la capacitación y facilitación del proceso de implementación del RCM.

Tabla 11

Costos de la Implementación del RCM

ACTIVIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO EN DÓLARES *	VALOR TOTAL EN DÓLARES *
Ajuste a curso de facilitadores	1	USD 15,000	USD 15,000
Ajuste a gastos de viaje de cursos (introdutorios y facilitadores)	1	USD 4,295	USD 4,295
Semanas de facilitación de chancadora (adicional)	2	USD 4,000	USD 8,000
Ajuste a gastos de viaje de facilitación	1	USD 3,360	USD 3,360
TOTAL SERVICIOS EN RCM2 Y GASTOS DE VIAJE			USD 30.655

Fuente: (Pérez, 2020)

3.5. Conclusiones.

- a) Tras el estudio del análisis del problema se concluye que la baja disponibilidad de la faja Overland se debe principalmente al alto índice de fallas y estas por causa de una inadecuada elaboración de los planes de mantenimiento preventivo de inspecciones sensoriales (operadores, mecánicos y eléctricos) y predictivos por el área de confiabilidad. Tras implementar estas tareas de condición la disponibilidad y el tiempo medio entre fallas debería mejorar significativamente.
- b) Se puede concluir en este trabajo de suficiencia profesional que con planes de mantenimiento bien elaborados se pudo lograr mantener los equipos en buenas condiciones y podemos anticiparnos a las fallas, logrando disminuir las horas de mantenimiento y por lo tanto incrementar la disponibilidad del equipo.
- c) Está demostrado que muchas empresas quedan en el intento de implementar el RCM por no contar con un consultor especializado, esta persona es clave tanto para la capacitación del personal de MCP y en la fase de la implementación, con el consultor se evita retrasos por distintos puntos de vista entre el grupo multidisciplinario y sobre todo se corrigen dudas durante la implementación.
- d) Al implementar las estrategias del RCM, se sigue una estructura de pasos con la finalidad de lograr planes de mantenimiento que en realidad requieren los activos, y como se puede observar en el estudio no solo se trata de tareas de reacondicionamiento o sustitución cíclicas, también se tiene tareas que se lleva el equipo a la falla o tareas de condición y para definir todas estas tareas es necesario que exista un grupo multidisciplinario en distintas disciplinas que tengan alta experiencia y conocimientos teóricos de su especialidad. Esto es un punto importante en la implementación de la metodología del Mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- e) El presente proyecto solo se refiere a implementar el RCM en un equipo de alta criticidad y complejidad, con la finalidad de cumplir con el objetivo

de su implementación y aplicarlo posteriormente a otros equipos críticos, muchas empresas quieren implementar a toda una planta o sistema y se quedan en el intento ya que se vuelve una metodología muy tediosa y termina siendo un fracaso.

3.6. Recomendaciones.

- a) Es importante que la implementación del RCM sea liderado y avalado por la Presidencia o gerencia de mantenimiento de MCP, esto con la finalidad que todas las áreas se comprometan de la mejor manera, muchas empresas fracasan en la implementación de esta metodología por no ser vistos como prioridad por los altos mandos de la empresa.
- b) Muchas empresas o consultoras en la actualidad culminan la implementación de la metodología entregando las hojas de información y decisión, pero lamentablemente quedan como archivos guardados en físicos o digitales. Por lo tanto, se recomienda culminar esta metodología en el ERP de la empresa, en este caso en SAP, se deben crear las hojas de ruta, planificar y finalmente programar e incluir en el plan de mantenimiento semanal y anual.
- c) Al ser el área de gestión de activos de MCP la protagonista de la iniciativa de implementar el RCM, debe ser la encargada en formar facilitadores que suplan las labores de los consultores externos, esto para seguir implementando la metodología en cascada a los demás equipos críticos de la planta concentradora.
- d) Dentro de la implementación del desarrollo de estrategias bajo la metodología RMC se debe tomar en cuenta la fase de Auditoria, la cual evidencia las desviaciones en cuanto al plan inicial. La recomendación es hacerla después de 2 o 3 semanas de implementado y observar si lo establecido es lo que se está haciendo. Una revisión más detallada implica a las funciones de los activos, fallas funcionales, modos de fallo y sus efectos esto podemos llamarlo como RCM vivo, la cual siempre debemos estar en seguimiento y revisión.

- e) Se debe de tener en el ERP (SAP) de MCP un campo que defina el nacimiento de la estrategia bajo una metodología dada y en el caso particular de la nuestra organización el RCM. Muy pocas organizaciones con SAP implementan campos para definir que la estrategia nació por dicha metodología. Es factible habilitar campos en el ERP para dicho fin y la sugerencia es la tarea que deriva de la hoja de decisión.

CAPÍTULO IV

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

David. (2003). Matriz EFI Y EFE. Perú.

Minera Chinalco Perú S.A. (Noviembre de 2019). *Inicio*. Obtenido de Minera Chinalco Perú Web site: www.chinalco.com.pe

Ministerio de Energía y Minas. (Octubre de 2019). Obtenido de www.minem.gob.pe/

Moubray, J. (2004). *Reliability Centered Maintenance*. North Carolina, USA: Aladon LLC.

Parra Márquez, C. A., & Crespo Márquez, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos*. Sevilla, España: IGEMAN.

Pérez, P. (martes de Enero de 2020). TSP. *Incremento de disponibilidad mediante la implementación del RCM*. Lima, Lima, Perú: n/a.

Preditec. (2020). Grupo Alava.

Software RMS, D. (2021). Minera Chinalco Perú S.A. Perú.

Toromocho. (Diciembre de 2013). *Desarrollo Peruano*. Obtenido de <https://desarrolloperuano.blogspot.com/2013/12/ya-opera-la-gigantesca-mina-de-toromocho.html>

CAPÍTULO V
GLOSARIO Y TÉRMINOS

Faja Transportadora	Es una cinta o faja transportadora que sirve para transporte de mineral por medio de tambores o poleas.
RCM	El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad con siglas en inglés (“Reliability Centered Maintenance”) es el proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual. (Libro RCM John Moubrey,1997)
Disponibilidad	Es la medida de la cantidad de Tiempo de Detención de los Equipos requerido para mantener al equipo disponible. Esta medida está controlada principalmente por Mantenimiento. $\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo Requerido} - \text{Tiempo detenciones por mantenimiento}}{\text{Tiempo requerido}}$
Tiempo requerido	Tiempo durante el cual se requiere al equipo o al personal para actividades operativas o de mantenimiento. $\text{Tiempo Requerido} = \text{Tiempo Calendario} - \text{Tiempo de Espera}$
Tiempo calendario	El calendario gregoriano acordado internacionalmente de 365 días por año; año bisiesto cada cuatro años (siendo el año divisible de manera pareja entre 4 y los años de doble cero divisibles entre 400), 24 horas por día, 60 minutos por hora, 60 segundos por minuto.
Utilización	Es la medida durante la cual ocurre el tiempo de Producción. Esta medida está controlada conjuntamente por Mantenimiento y Operaciones.
MTBF	Tiempo Promedio entre Fallas, es la medida promedio de confiabilidad para los equipos en interrupciones de mantenimiento no programado.

	$MTBF = \frac{\text{Tiempo Requerido} - \text{Tiempo detenciones por fallas de mantto}}{\text{Numero de fallas por mantto}}$
MTTR	<p>Tiempo Promedio para la Reparación, es la medida de cuan rápidamente se puede volver a poner en servicio una maquina una vez que ocurre un incidente que ocasione tiempo en inactividad.</p> $MTTR = \frac{\text{Tiempo detenciones por fallas de mantto}}{\text{Numero de fallas por mantto}}$
MCP	MNERA CHINALCO del Perú
Mantenimiento Planificado (PM)	El mantenimiento planificado (PM) es un tipo de mantenimiento para un objeto o equipo de producción que se caracteriza por ser programado.
Mantenimiento Predictivo	Es el monitoreo de la condición del equipo basado en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros usando instrumentos de última tecnología para el diagnóstico de fallas.
Curva PF	Curva de intervalo y tiempo de falla
RCA	Análisis causa Raíz
AMEF	Análisis modo efecto de falla

CAPÍTULO VI

ANEXOS

Anexos 1

Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES	INDICADORES	VALOR FINAL
<p>GENERAL: Baja disponibilidad por pérdidas de horas de mantenimiento (correctivo y preventivas) en la faja Overland del área de Chancado Primario</p> <p>ESPECIFICOS: 1. Alto índice de frecuencia de fallas por Mantenimiento correctivos 2. No se tiene detección temprana de fallas por mantenimiento predictivo 3. Falta incluir o modificar planes de Mantenimiento Preventivo que ayuden a evitar fallas</p>	<p>GENERAL Implementación de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.</p> <p>ESPECIFICOS: 1. Reducir los tiempos de parada debido a fallas. 2. Reducir la frecuencia de fallas 3. Desarrollar planes de mantenimiento (Preventivos y reactivos)</p>	<p>H1: Con nuevos planes de mantenimiento implementados con la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad se aumenta la disponibilidad y el MTBF, se incrementa la producción y se reduce costos de mantenimiento. H2: La reducción de los tiempos de parada por fallas logra incrementar la disponibilidad de la faja overland a más de un 96% de H3: La reducción de frecuencia de fallas aumenta el tiempo medio entre fallas (MTBF) de la faja overland a 720 horas. H4: Nuevos y mejores planes de mantenimiento mejorarán los indicadores.</p>	<p>VARIABLES DEPENDIENTES: Pérdida de Producción por baja disponibilidad en la faja transportadora del área de Chancado Primario de Minera Chinalco del Perú</p> <p>VARIABLES INDEPENDIENTES: 1. Alta frecuencia de fallas no programadas y demoras en tiempo de reparaciones. 2. Faltan implementar planes de Mantenimiento. 3. Técnicas predictivas inadecuadas no se detectan fallas tempranas para evitar mantenimientos</p>	<p>DEPENDIENTES: Disponibilidad:</p> <p>INDEPENDIENTES: : Tiempo medio entre fallas MTBF: Tiempo medio para reparar MTTR: Incremento de planes de mantenimiento con la implementación del RCM</p>	<p>Incrementar la Disponibilidad:</p> <p>Incrementar Tiempo medio entre fallas MTBF:</p> <p>Disminuir el tiempo medio para reparar MTTR:</p> <p>Incremento de planes de Mantenimiento (preventivos, predictivos, correctivos etc.)</p>

Fuente: (Pérez, 2020)

Anexos 2

Hoja de Análisis Modo Efecto de Falla (AMEF)

Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad								
HOJA DE INFORMACIÓN RCM2	ELEMENTO: <i>Faja Overland 200-CV003</i>		Fecha inicial <i>23/11/2015</i>		Realizado por: <i>Pedro Villalobos, Juan Huete y Raúl Hospinal</i>			
	COMPONENTE: <i>Sistema hidráulico de alta presión del reductor CST</i>		Fecha final <i>04/11/2015</i>		Revisado por: <i>Pedro Villalobos, Juan Huete y Raúl Hospinal</i>			
FUNCIÓN	TIPO DE FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	TIPO DE MODO FALLA	EFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)			
1	Suministrar aceite de alta presión entre 840 y 950 psi	Función primaria	A	No suministra aceite de alta presión entre 840 y 950 psi	1	Eje de accionamiento de bombas fatigado	Desgaste	Al fatigarse los ejes de accionamiento de las bombas de alta y baja presión, el sistema de alta presión no trabaja, el transductor de presión del embrague PT-2 quedara por debajo de 725 psi y el sistema de control iniciara parada de emergencia. El impacto en seguridad y medio ambiente es cero. <i>Tiempo de parada para diagnosticar es 04 horas y reemplazar el eje completo es 24 horas</i>
					2	Bomba de alta con rodamientos fatigados	Desgaste	Al fallar la bomba, el sistema de alta presión no trabaja, el transductor de presión del embrague PT-2 quedara por debajo de 725 psi y el sistema de control iniciara parada de emergencia. El impacto en seguridad y medio ambiente es cero. Tiempo de parada para diagnosticar es 04 horas y reemplazar el la bomba completo es 04 horas
					3	Valvula check B2 falla en posición abierta	Falla Súbita	Si la válvula check B2 falla en posición abierta , impidiendo el flujo de aceite, habra restricción del paso de aceite y el transductor de presión del embrague PT-2 quedara por debajo de 725 psi y el sistema de control iniciara parada de emergencia. El impacto en seguridad y medio ambiente es cero. Tiempo de parada para diagnosticar es 04 horas y reemplazar válvula check es 02 horas
					4	Valvula check B1 falla en posición abierta	Falla Súbita	Si la válvula check B1 falla en posición abierta permitiendo ingreso de aceite de alta presión (1250 psi) a la línea de enfriamiento de lubricación (100 psi), el sistema de alta presión no trabaja, el transductor de presión del embrague PT-2 quedara por debajo de 725 psi y el sistema de control iniciara parada de emergencia. El impacto en seguridad y medio ambiente es cero. Tiempo de parada para diagnosticar es 04 horas y reemplazar válvula check es 02 horas
					5	Válvula relief PRV-3 falla en posición cerrada	Falla Súbita	Si la válvula relief PRV-3 falla en posición cerrada, se apertura la valvula relief subitamente, el sistema de alta presión no trabaja, el transductor de presión del embrague PT-2 quedara por debajo de 725 psi y el sistema de control iniciara parada de emergencia. El impacto en seguridad y medio ambiente es cero. Tiempo de parada para diagnosticar es 04 horas y reemplazar válvula es 02 horas
					6	Válvula relief PRV-3 seteado por debajo de 725 psi	Error humano mantenimiento	Si la válvula relief PRV-3 esta seteado por debajo de 725 psi, el sistema no elevara presión por encima de 725 Psi, el sistema de alta presión no trabaja, el transductor de presión del embrague PT-2 quedara por debajo de 725 psi y el sistema de control iniciara parada de emergencia. El impacto en seguridad y medio ambiente es cero. Tiempo de parada para diagnosticar es 04 horas y reemplazar válvula es 02 horas

Fuente: (Pérez, 2020)

Anexos 3

Definición de la Hoja de Decisión del RCM

ANÁLISIS DE RCM

Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

HOJA DE DECISIÓN RCM2			ELEMENTO: <i>Ingrese el nombre de activo o sistema a analizar</i>								Fecha inicial		Realizado por:				
			COMONENTE: <i>Ingrese el nombre del subsistema a analizar</i>								Fecha final		Revisado por:				
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"				Frecuencia inicial	A realizar por	Comentarios / Observaciones	Tipo de tarea a falta de
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4	Tarea a realizar							
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningun mantenimiento programado, tener en stock un juego reductor+bomba	NA	Planeamiento		Estrategia de inventarios
1	A	2	S	N	N	S	S						Monitoreo de vibraciones de la bomba completa y generar aviso en caso se supere los 5 mm/s	03 Meses	Confiabilidad	P-F=06 meses	
1	A	3	S	N	N	N	N	N	N				Ningun mantenimiento programado, tener en stock una válvula B2	NA	Planeamiento		Estrategia de inventarios
1	A	4	S	N	N	N	N	N	N				Ningun mantenimiento programado, tener en stock una válvula B1	NA	Planeamiento		Estrategia de inventarios
1	A	5	S	N	N	N	N	N	N				Ningun mantenimiento programado, tener en stock una válvula PRV-3	NA	Planeamiento		Estrategia de inventarios
1	A	6	S	N	N	N	N	N	N				Ningun mantenimiento programado, tener en stock una válvula PRV-3 calibrada	NA	Planeamiento		Estrategia de inventarios
1	A	7	S	N	N	N	N	N	N				Ningun mantenimiento programado, tener en stock un manifold assy. (paquete de válvulas completo) y/o una válvula RV	NA	Planeamiento		Estrategia de inventarios
1	A	8	S	N	N	N	N	N	N				Ningun mantenimiento programado, tener en stock un manifold assy. (paquete de válvulas completo) y/o una válvula RV	NA	Planeamiento		Estrategia de inventarios
1	A	9	S	N	N	N	N	N	N				Ningun mantenimiento programado, tener en stock un transductor PT-2 calibrado	NA	Planeamiento		Estrategia de inventarios
1	A	10	S	N	N	N	N	N	N				Ningun mantenimiento programado, tener en stock un manifold assy. (paquete de válvulas completo) y/o una válvula PCV	NA	Planeamiento		Estrategia de inventarios
1	A	11	S	N	N	N	N	N	N				Ningun mantenimiento programado, tener en stock un manifold assy. (paquete de válvulas completo) y/o una válvula PCV	NA	Planeamiento		Estrategia de inventarios
1	A	12	S	N	N	N	N	N	N				Ningun mantenimiento programado, tener en stock un manifold assy. (paquete de válvulas completo) y/o una válvula BLV	NA	Planeamiento		Estrategia de inventarios

Fuente: (Pérez, 2020)

Anexos 4

Formato del Plan de Mantenimiento RCM Para Ingreso al SAP

Faja Overland 200-CV-003														
Ubicación Técnica		TOR-CON-200			Tag 200-CV-003						Labor Cost P			
Area:		200												
Model		Faja Overland			Marca dodge									
Cantidad de Equipos		4												
	Ubicación Técnica	Tipo de Montaje	Componente	Hoja de Ruta	System Condition	Clase de orden	Control	Clase de Actividad	Cod. Actividad	Task list description	Frecuencia	Unit	Labor cost (\$)	Parts & Material (\$)
1			Ruta		O	PM02	✓	Z15	-1	Análisis vibracional Motor eléctrico, Bomba y Reductor	2	SEM	7.5	0
5			Ruta		O	PM02	✓	Z15	-5	Ruta de Lubricación: Lubricar sellos de caja reductora,	4	SEM	7.5	0
6			Motor		O	PM02	✓	Z01	-6	Inspección de motor	12	SEM	720	0
7			Reductor CST		O	PM02	✓	Z01	-7	Inspección de reductores CST	12	SEM	720	54414
8			Poleas		D	PM01	☒	Z01	-8	Inspección de rodamientos de poleas	16	SEM	180	413
9			Faja		D	PM01	☒	Z01	-9	Inspección de faja	26	SEM	720	1349
10			Sist. Eléctrico		D	PM01	☒	Z01	-10	Inspección de sistemas eléctricos	104	SEM	30	1911
11			Portarodamiento		D	PM01	☒	Z01	-11	Cambiar caja de rodamientos	156	SEM	540	0
12			Portarodamiento		D	PM01	☒	Z03	-12	Reparar caja de rodamientos	156	SEM	540	9865
15			Sistema E.		D	PM01	☒	Z01	-15	Cambiar sistema de enfriamiento	156	SEM	720	0
16			Sistema H.		D	PM01	☒	Z03	-16	Sistema Hidráulico	156	SEM	720	10502
													4,905	78,454

Fuente: (Pérez, 2020)