



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE DE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LAS 7
PREGUNTAS BÁSICAS DEL MÉTODO RCM PARA EL CHANCADOR
GIRATORIO KB 63 – 114 CON BASE EN SU MANUAL TÉCNICO DENTRO
DEL PROYECTO TRASPASO CODELCO ANDINA**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Técnico Universitario en
Mantenimiento Industrial

Alumno:

Brayan Alexei Roco Castro

Profesor guía:

Mg. Ing. Ricardo Ciudad Cartagena



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE
MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Propuesta de plan de mantenimiento basado en las 7 preguntas básicas del método RCM para el chancador giratorio kb63-114 con base en su manual técnico dentro del proyecto traspaso Codelco Andina

Nombre del candidato(a):

Brayan Alexei Roco Castro

Carrera / Grado: técnico universitario en mantenimiento industrial

Campus: sede José Miguel Carrera JMC Departamento: mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Ricardo Ciudad Cartagena, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 02/12/2025

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 02/12/2025

Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado para mi familia:

Mi padre, quien siempre se esforzó porque no me faltara nada con arduo trabajo, nunca entendí el sacrificio que él hacía por mí hasta que me tocó trabajar y ser un minero más. Literalmente diste la vida por nuestra familia, ya que en el 16 de enero de 2021 nos tocó verte partir por un accidente en Codelco Chuquicamata, desde ese día nada ha vuelto a ser lo de antes, pero misteriosamente las puertas se comenzaron a abrir a miles de oportunidades que nunca pensé antes en poder tener la verdad es que desde ese día nunca me he vuelto a sentir solo y sé que tú me cuidas en mi trabajo por el riesgo en el que me desempeño y me bendices cada día gracias por la fuerza que me has dado Rodrigo Roco Castillo.

Mi madre por siempre acompañarme, aconsejarme y también el esfuerzo que haces en tu trabajo por nuestra familia sé que es bastante desgastante tu labor, pero la verdad es que, al verte a ti con todos tus logros, tus triunfos me doy cuenta de que yo también puedo porque soy hijo tuyo y esa inteligencia también la llevo dentro a la inspiración motivación y aliento que me das en seguir adelante a la insistencia en que termine mis estudios para poder seguir creciendo gracias por todo Madre

Mi familia “Hermanos” agradecerles por siempre estar conmigo, siempre apoyarme y estar conmigo, por continuamente generar en mí una motivación y nunca separarnos, ser siempre unidos.

yo también quiero llegar al día en que los vea siendo unos profesionales

Mi hijo Santiaguito mi niño eres mi pilar fundamental para siempre salir adelante y levantarme cada día, para poder ir a trabajar y conseguir el dinero para tus terapias, desde el día que supe que tenías autismo supe que no iba a ser fácil, pero también fue una motivación para siempre dar lo mejor de mí para que puedas tener las mismas oportunidades que tuve yo te amo hijo

El éxito suele llegar a quienes están demasiado ocupados para buscarlo.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como propósito desarrollar un estudio aplicado al proyecto Nudo 3500 de Codelco División Andina, con el objetivo de elaborar un plan de mantenimiento basado en las 7 preguntas fundamentales de la metodología RCM (Reliability Centered Maintenance), complementado con el análisis FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis), para el chancador primario giratorio KB 63–114.

El estudio se centró en un equipo crítico ubicado en la primera etapa del proceso de conminución del mineral, el cual procesa hasta 120.000 toneladas por día (ktpd). Debido a que este chancador constituye el punto inicial del flujo productivo, su detención ocasiona la paralización total del sistema Traspaso, generando pérdidas estimadas en torno a 25.000 USD por hora de detención y reducciones significativas en la disponibilidad operacional.

Se recopilaron antecedentes técnicos del equipo y del manual del fabricante Thyssenkrupp, junto con la revisión de casos comparativos en Minera Escondida y Minera Sierra Gorda, con el fin de establecer una base de referencia para el diseño del plan. La aplicación del método FMECA permitió identificar 36 modos de falla distribuidos en los principales sistemas críticos (hidráulico, motriz, lubricación y aireación), clasificándolos mediante el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) según la norma SAE JA1739.

Como resultado, se determinó que los sistemas hidráulicos, motriz y de lubricación presentaban los mayores índices de criticidad, con valores de NPR entre 150 y 216, por lo que se establecieron tareas de mantenimiento preventivo y predictivo basadas en inspecciones periódicas, monitoreo de condición y control de parámetros operacionales. La propuesta proyecta una reducción promedio del 40 % en el NPR global del equipo y un incremento estimado del 12 % en la disponibilidad operacional (%Availability), garantizando así la continuidad productiva y la seguridad de las operaciones dentro del sistema Traspaso de División Andina.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Introducción	1
Objetivos	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos	2
Capítulo 1. Antecedentes Generales, Descripción Del Proyecto Y Del Contexto Operacional Del Chancador.	3
1. Antecedentes Generales De La Empresa	4
1.1 Empresa Y Su Historia	4
1.2 Descripción Del Proyecto Traspaso	6
1.3 Diagrama De Flujo De Procesos Del Sistema Traspaso	9
1.4 Contexto Operacional Del Chancador Primario Giratorio Kb 63 – 114 Planta Nodo 3500 Y Sistema Traspaso	11
Capítulo 2. Problemática, E Implementación Del Fmeca	17
2.1 Planteamiento Del Problema	18
2.2 Mantenimiento Y Sus Tipos.....	19
2.3 Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad Rcm.....	20
2.4 Herramienta Fmeca: Descripción Y Evaluación De Sistemas Internos .	21
2.5. Herramienta Fmeca: Análisis De Fallas, Efectos Y Criticidad	26
2.6 Árbol De Decisión Rcm Y Definición De Tareas	33
2.7. Tablas De Criticidad Y Justificación De Puntajes Npr	40
Capítulo 3. Plan De Mantenimiento Para Los Sistemas Críticos Del Chancador Primario	56
3.1 Plan De Mantenimiento.....	57
3.2 Plan De Mantenimiento Para Los Sistemas Críticos Chancador Kb 63-114.....	57
3.2.4 Sistema De Lubricación Por Grasa.....	73
3.3 Documentación Para Llevar A Cabo Trabajos En Compañía Codelco..	86
Conclusiones Y Recomendaciones	90
Bibliografía	92

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.- Ubicación geográfica de la empresa	6
Figura 2.-expansión del proyecto en la división.....	7
Figura 3.-Sector nodo 3500 en construcción	7
Figura 4.-Edificio de chancado primario Nodo 3500	8
Figura 5.- ubicación y construcción de chancador primario KB 63 - 114	9
Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de producción del sistema traspaso ...	10
Figura 7.-Construcción de caverna donde se aloja el chancador primario.....	11
Figura 8.- manual técnico del chancador giratorio KB 63 - 114.....	12
Figura 9.-Sector nodo 3500 en invierno	14
Figura 11.10Proceso del método RCM	21
Figura 11.- Sistema Hidráulico.....	22
Figura 12.- Sistema de lubricación por aceite	23
Figura 13.- Sistema de lubricación por grasa	23
Figura 14.- Sistema motriz	24
Figura 15.- Sistema de aireación por sobrepresión de la junta antipolvo.....	25
Figura 16.- Sistema conjunto araña vista superior	25
Figura 17. Árbol de decisión RCM aplicado al chancador primario giratorio	37
Figura 18. ART.....	86
Figura 18. Registro de bloqueo	87
Figura 18. Autorización de trabajo en área	88
Figura 18. Check List	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales características técnicas y operacionales.....	14
Tabla 2. Accionamiento del Chancador KB 63–114.....	15
Tabla 3. Acoplamiento de seguridad	16
Tabla 4. FMECA de sistemas críticos del chancador primario KB 63–114	27
Tabla 5. Definición de tareas de mantenimiento según análisis de fallas	38
Tabla 6. Escala de Severidad (S).....	41
Tabla 7. Escala de Ocurrencia (O)	42
Tabla 8. Escala de Detección (D).....	42
Tabla 9. Matriz de criticidad	43
Tabla 10. Análisis costo beneficio.....	45

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Gráfico de nivel de procesamiento producto del cierre de mina
subterránea 8

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

RCM: Mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Ktpd: Miles de toneladas por día.

F.M.E.C.A: Análisis de modo de falla, efectos y criticidad.

°: Grados

NPR: Número de prioridad de riesgo.

ACR: Análisis causa raíz

OT: Arden de trabajo

ART: Análisis de riesgo del trabajo

S: SEVERIDAD

D: Detectabilidad

O: Ocurrencia

RPM: Revoluciones por minuto

SAE: Asociación de ingenieros automotrices

A: Ampere

Hz: Hertz

V: Volt

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la minería, existen diversas empresas cuyo principal objetivo es la explotación de yacimientos ricos en minerales como el cobre, litio, molibdeno y plata, entre otros. Dentro de las grandes compañías del sector destaca Codelco, una de las principales productoras de cobre a nivel mundial, con ocho divisiones distribuidas a lo largo del territorio chileno. Entre ellas se encuentra CODELCO DIVISIÓN ANDINA, la cual actualmente desarrolla un proyecto de expansión orientado a mantener los niveles de producción mediante la operación combinada de mina subterránea y rajo abierto, pero con una menor cantidad de equipos mineros y la incorporación de una nueva planta de chancado primario. Una vez finalizado este proyecto, se contempla el cierre definitivo de la mina subterránea.

Con la puesta en marcha del proyecto, toda la producción de cobre será procesada por el chancador primario giratorio KB 63–114, equipo que se convierte en un componente crítico dentro del sistema productivo, ya que será el encargado de alimentar la planta de chancado secundario o concentradora. Por ello, una falla en este equipo generaría la detención completa del proceso de producción, afectando los niveles de procesamiento requeridos por la empresa y provocando pérdidas económicas significativas.

El presente trabajo tiene como objetivo prevenir posibles fallas en este equipo crítico. Para ello, se realizará un estudio técnico del chancador, apoyado en su manual del fabricante, con el propósito de identificar las funciones y características de sus sistemas principales y desarrollar un plan de mantenimiento adecuado. En esta propuesta se aplicará la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), complementada con la herramienta Análisis Modal de Fallos, Efectos y Criticidad (FMECA), que permitirá identificar los modos de falla más relevantes en cada subsistema y establecer acciones de mantenimiento orientadas a mejorar la disponibilidad y confiabilidad operacional del equipo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de mantenimiento basado en las 7 preguntas básicas de la metodología RCM, aplicadas al chancador giratorio KB 63–114 del proyecto Nodo 3500 de CODELCO DIVISIÓN ANDINA, con el propósito de mejorar su disponibilidad operacional medida a través del indicador % Availability.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Contextualizar el proyecto Nodo 3500 de CODELCO DIVISIÓN ANDINA, estableciendo su relevancia productiva y operativa dentro del proceso de conminución, como base para la comprensión del entorno donde operará el chancador giratorio KB 63–114.
- Identificar los sistemas, componentes y características técnicas del chancador giratorio KB 63–114, mediante la revisión y análisis de su manual técnico, con el fin de determinar los elementos críticos que condicionan su desempeño.
- Aplicar la herramienta FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) a los sistemas críticos del chancador, para determinar los modos de falla más relevantes y su nivel de criticidad, como base para la elaboración del plan de mantenimiento propuesto.
- Elaborar un plan de mantenimiento preventivo y predictivo sustentado en los resultados del análisis FMECA, que mejore la confiabilidad y continuidad operacional del chancador giratorio KB 63–114 dentro del sistema Traspaso de DIVISIÓN ANDINA.

**CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES GENERALES, DESCRIPCIÓN DEL
PROYECTO Y DEL CONTEXTO OPERACIONAL DEL CHANCADOR.**

1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA

1.1 EMPRESA Y SU HISTORIA

1.1.1 Misión

Codelco tiene como misión maximizar el valor económico, como también ambiental y social de la empresa, a y a su vez se encarga de contribuir con el estado de Chile de forma sostenible por medio de la minería productora del cobre y sus subproductos.

1.1.2 Visión

La visión que tiene Codelco consiste en generar el liderazgo de la empresa a nivel mundial en el ámbito de la producción del cobre, por medio de herramientas que potencien el desarrollo de sus negocios, maximizando su valor económico dentro del mercado y de esta forma aumentar su aporte al estado del país de Chile.

1.1.3 Historia

En la antigüedad las culturas andinas tales como atacameños, diaguitas, Tiahuanaco e incas fueron los principales explotadores del mineral de cobre desde el comienzo, transcurrido el tiempo en la época colonial comenzó a crecer una pequeña industria del cobre la que llegó a producir un total de 19.000 toneladas en el año 1810 luego entre los años 1820 y 1900 Chile llegó a producir 2 millones de toneladas de cobre posicionando al país como el primer productor y exportador de este mineral a nivel mundial, sin embargo, producto del alto impacto de la explotación del salitre los niveles de producción del metal rojo disminuyeron.

Tiempo después, la situación volvió a cambiar, favoreciendo nuevamente al país chileno por el auge de la minería de cobre, en el siglo XX, producto de la apertura de las minas, EL TENIENTE, CHUQUICAMATA Y POTRERILLOS. Más tarde se firma el convenio con Washington, este convenio le permitía al estado encargarse del 20 % de lo que se produjera para su posterior comercialización, un año después de este tratado se promulgó la ley del cobre, esta ley le entregaba al banco central ya no solo el 20 %, sino

que aumento a la comercialización total del cobre, de esta forma se le abren las oportunidades a Chile para ingresar al comercio del mercado estadounidense y europeo, para este fin se crea el departamento del cobre este se encargaba de la participación en los mercados internacionales y a su vez fiscalizar la producción del metal.

Posterior a esto se crea una ley que se encarga de la chilenización del cobre esta ley genera que el departamento del cobre se convierta en la corporación del cobre con la obligación de encargarse de la producción y comercialización del mineral, además de buscar refinar todo el metal rojo dentro de Chile con el fin de aumentar la producción pudiendo llegar hasta un millón de toneladas.

Luego del transcurso de 5 años después de la ley de la chilenización del cobre se aprueba la ley de la nacionalización de la gran minería del cobre esta ley establecía que todas las instalaciones de las empresas extranjeras y sus respectivos bienes pertenecientes al mundo de la gran minería del cobre pasan a ser del dominio y propiedad del Estado chileno.

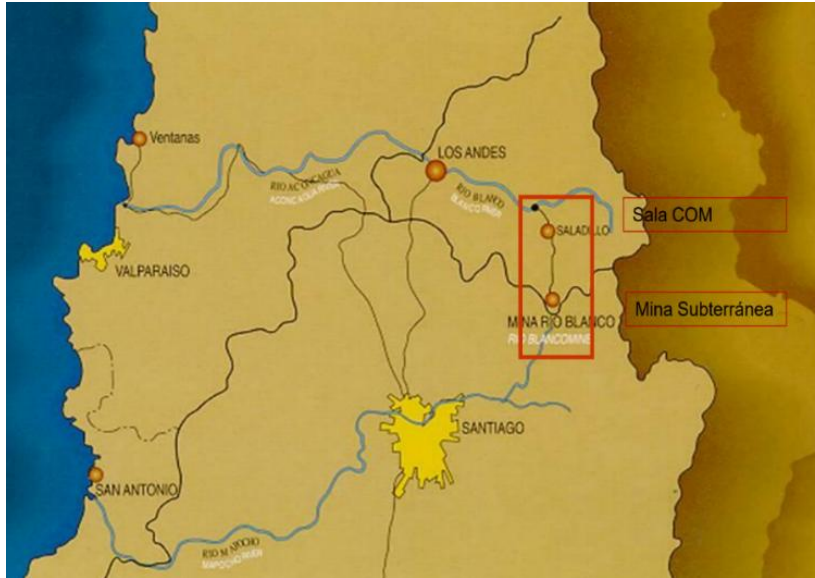
Finalmente, en el año 1970 la corporación del cobre se subdivide en dos organismos producto de los decretos ley, por un lado, o se tiene la comisión chilena del cobre Cochilco, esta comisión se encarga de realizar la labor como organismo técnico y asesor mientras que por el otro lado se encuentra la Corporación Nacional del Cobre de Chile, en otras palabras Codelco, de esta forma nace esta empresa que pasa a ser del estado y se encargaba de la producción y a su vez unifica los yacimientos ya existentes en una sola corporación minera, industrial con su patrimonio propio y con personalidad jurídica.

En la actualidad Codelco cuenta con ocho divisiones que producen cobre y otros productos CHUQUICAMATA, RADOMIRO TOMIC, MINISTRO HALES, GABRIELA MISTRAL, SALVADOR, ANDINA (a 70 kilómetros de la ciudad de Los Andes), El teniente, Ventanas (región de Valparaíso y una división auxiliar. Entre las divisiones nombradas con las que cuenta Codelco, se utilizará para esta memoria CODELCO DIVISIÓN ANDINA, porque en esta división es donde se utilizará el chancador primario giratorio kb 63 – 144.

1.1.4 Ubicación geográfica y antecedentes históricos de la DIVISIÓN ANDINA

DIVISIÓN ANDINA, se encuentra ubicada geográficamente a 70 kilómetros de la ciudad de Los Andes, región de Valparaíso, entre 3500 y 4000 metros sobre el nivel del mar. Opera en el yacimiento de Río Blanco, cerca de Los Andes. La riqueza de este yacimiento comenzó a explotarse en el año 1970 con la creación de la compañía.

Figura 1.- Ubicación geográfica de la empresa



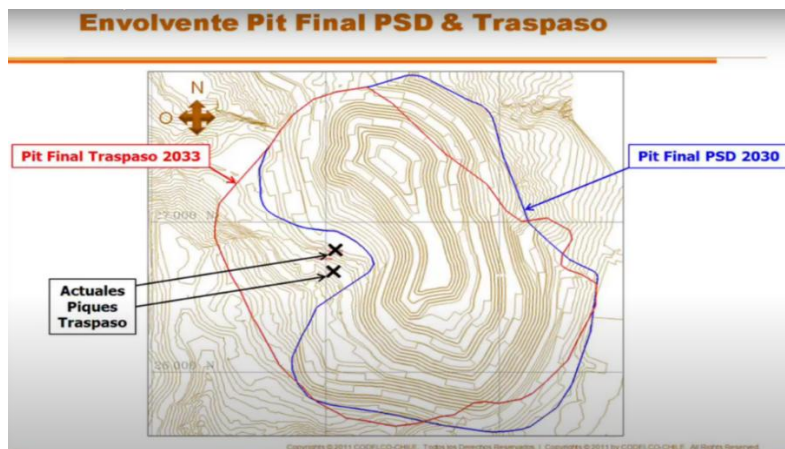
Fuente: (Codelco, 2025)

<https://www.codelco.com/flipbook/innovacion/codelcodigital6/PDF/EXPOSICION/2/26p.pdf>

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO TRASPASO

El sistema traspaso es un proyecto estructural que fue propuesto por la vicepresidencia de Codelco y que tiene como misión principal proyectar la empresa hacia el futuro, además tiene como objetivos mantener los índices de producción y a su vez expandir Codelco división andina hacia el lado oeste de su yacimiento, generando como consecuencia el cierre de la mina subterránea, ya que esta se ubica en el mismo sector en que se llevaran a cabo las excavaciones para la construcción de la planta de chancado primaria, Nodo 3500 y a su vez se ubicará la correa regenerativa que conectará el nodo 3500 con la planta concentradora.

Figura 2.-Expansión del proyecto en la división



Fuente: (Codelco,2025) extraído de: <https://www.youtube.com/watch?v=fVatf2zX0Ik&t=19s>

Figura 3.-Sector nodo 3500 en construcción

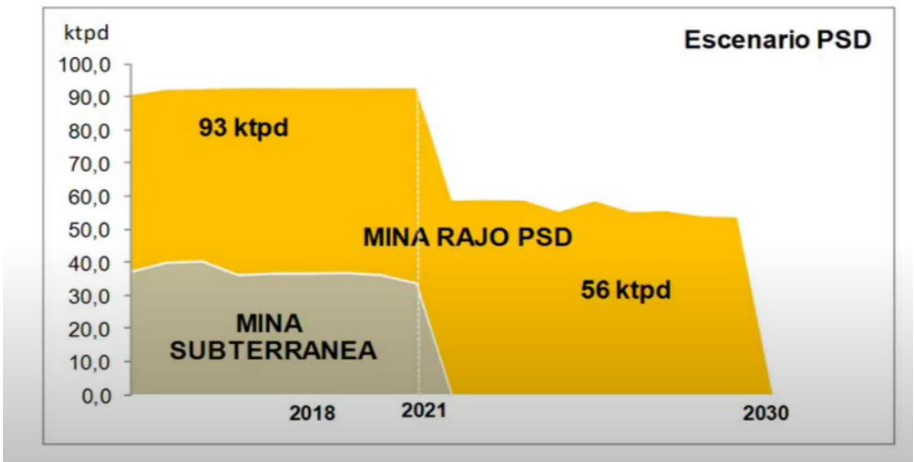


Fuente: (Codelco,2025) extraído de: https://www.youtube.com/watch?v=jOLfgAIT_Lo&t=171s

Codelco al momento de operar con el método de explotación mixto (rajo abierto y mina subterránea), genera una tasa de producción de 93 ktpd (toneladas por día). Mientras que, por otro lado, producto del cierre de la mina subterránea generado por el proceso de expansión del proyecto, se provocara una caída del índice del nivel de procesamiento del material explotado, generando en consecuencia que la tasa de producción disminuya a 56 ktpd (toneladas por día). Es por esto por lo que el sistema traspaso tiene como objetivo principal, mantener los índices de producción de hasta un 94.5% ktpd (toneladas por día), permitiendo a División Andina seguir contribuyendo activamente al país de Chile por 30 años más en forma segura y sustentable.

Gráfico 1. Gráfico de nivel de procesamiento producto del cierre de mina subterránea

Mineral a Planta Cordillera.



Fuente: Codelco <https://www.youtube.com/watch?v=fVatf2zX0Ik&t=19s>

Dentro de este proyecto se reemplazarán los más de 50 equipos que llevan a cabo el proceso de producción del método de explotación mixto, por un solo sistema de 14 equipos, disminuyendo la exposición a riesgos y facilitando sus mantenimientos.

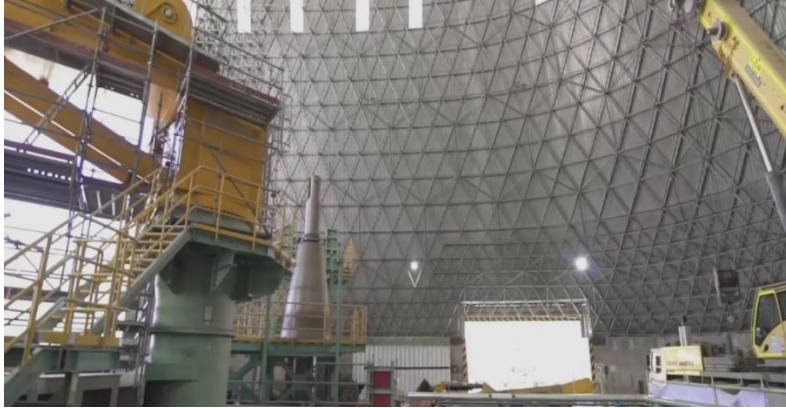
Desde que se dé inicio a la operación, trabajando solo a rajo abierto la máquina principal encargada de mantener los niveles de producción se encontrará ubicada en la planta de chancado primario dentro del sector nodo 3500 y corresponde al chancador primario giratorio kb 63 – 114 que estará cubierto por un colosal domo de 52 metros de altura con el único fin de controlar la emisión del material particulado y proteger a este equipo de las condiciones térmicas extremas generadas en invierno.

Figura 4.-Edificio de chancado primario Nodo 3500



Fuente: (Codelco,2025) extraído de: https://www.youtube.com/watch?v=jOLfgAIT_Lo&t=171s

Figura 5.- Ubicación y construcción de chancador primario KB 63 – 114



Fuente: (Codelco,2025) extraído de: https://www.youtube.com/watch?v=jOLfgALT_Lo&t=171s

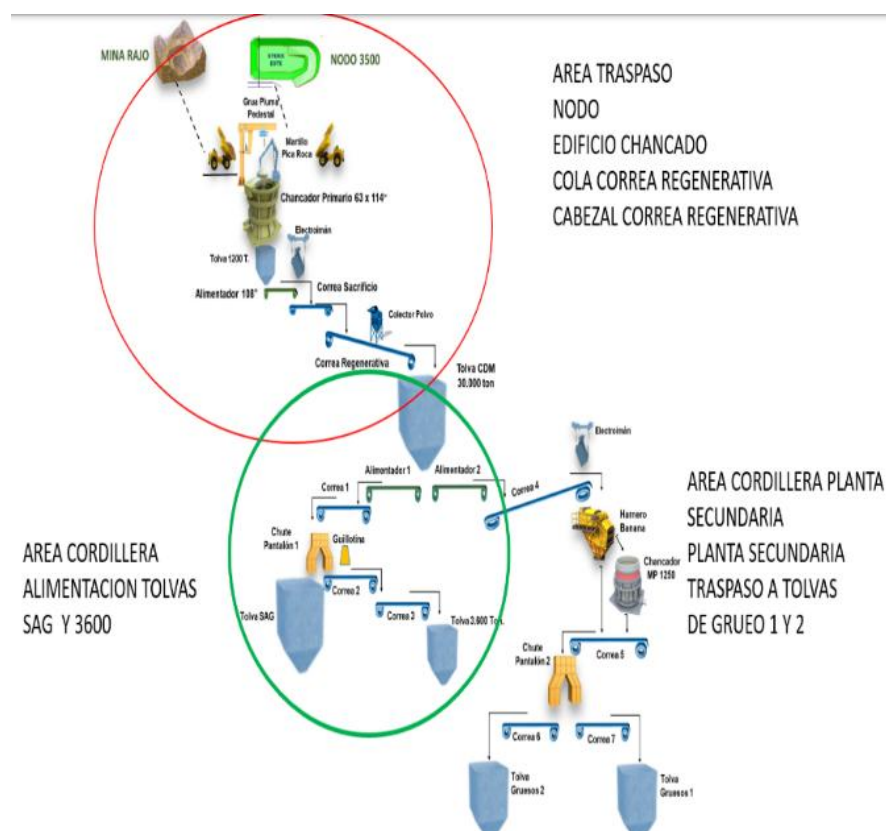
Este equipo se encargará de triturar todo el material extraído del yacimiento dentro de la primera etapa de la conminación, ya que es la primera estación por donde ingresa el mineral para iniciar el ciclo productivo.

El chancador primario además tendrá la misión de alimentar por medio de la correa regenerativa el resto de los equipos ubicados en la planta cordillera (planta de chancada secundaria), esta segunda estación realizará funciones operacionales y productivas complementarias que darán por finalizado el proceso de conminución, generando que el resto de los procesos restantes puedan continuar en óptimas condiciones para la obtención del producto final.

1.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS DEL SISTEMA TRASPASO

El diagrama de flujo de procesos o Flowsheet es una herramienta en formato gráfico, que se emplea en las diversas empresas involucradas en las distintas áreas tales como: procesos industriales, economía, estudio de mercado, ciclos de producción, entre otros. Ya que aporta con múltiples beneficios positivos para la empresa. Uno de los principales beneficios es generar una mejora en la comprensión de la información de algún proceso de producción. Para esto se establecen todas las tareas de trabajo junto a los equipos involucrados que conforman el ciclo de producción. Luego se representan mediante un orden lógico y de forma gráfica, con el fin de mostrar el mapeo completo del proceso de producción hasta la obtención del producto final.

Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de producción del sistema traspaso



Fuente: Elaboración propia basado en observación directa

Este diagrama tendrá como función en este trabajo facilitar la comprensión del proceso productivo de la empresa, además de identificar el contexto operacional en el que se verá involucrado el chancador primario giratoria kb 63 – 114. De esta forma se logró evidenciar que este equipo es crítico y de suma importancia para el proceso de producción, ya que es la primera estación por donde hace ingreso el mineral de todo el yacimiento, con el objetivo de ser triturado bajo los parámetros requeridos por Codelco. El chancador a su vez es el encargado de alimentar por completo a la planta cordillera. Generando de esta forma una dependencia de abastecimiento de material procesado en los equipos de la planta de chancado secundario de la concentradora. Ya que estos no son capaces de triturar el material que procesa el chancador primario, producto de las grandes dimensiones del tamaño del mineral.

Mediante el diagrama de flujo del proceso productivo del sistema traspaso de CODELCO DIVISIÓN ANDINA, se pudo establecer que, para el correcto funcionamiento del ciclo de producción de la empresa, se debe tener una operatividad y disponibilidad constante del chancador primario giratorio kb 63 – 114 ya que si este falla en consecuencia generará que el proceso productivo se detenga y de esa forma genere pérdidas en la producción diaria de la empresa evitando que el objetivo del proyecto se cumpla.

1.4 CONTEXTO OPERACIONAL DEL CHANCADOR PRIMARIO GIRATORIO KB 63 – 114 PLANTA NODO 3500 Y SISTEMA TRASPASO

Para comprender el contexto operativo en el que se instalara el chancador primario giratorio kb 63 – 114, se debe entender que este equipo al ser nuevo no ha realizado ninguna operación de producción ni tampoco de accionamiento producto de la construcción de la planta donde se realizara la instalación y armado del mismo equipo.

Figura 6.-Construcción de caverna donde se aloja el chancador primario KB 63 – 114



Fuente: (Codelco,2025) extraído de: <https://www.youtube.com/watch?v=0iGVRuamLKQ>

Esto reflejaría la falta de datos operativos, tales como:

- Índice de control de procesamiento de material (registro de producción diario).
- Historial de fallas, fallas recurrentes en el equipo (historial de funcionamiento)
- Reporte de personal asignado para las labores de producción (operadores del equipo).
- Reporte de personal encargado de las labores de mantenimiento (equipo de mantención)

1.4.1 Disponibilidad de datos técnicos y antecedentes proporcionados

Solo se cuenta con los planos de construcción del sistema traspaso más el manual técnico del chancador primario giratorio KB 63 – 114 proporcionado por el fabricante al momento de realizar la compra en el año 2016, este manual será la herramienta clave para este trabajo, ya que, nos proporcionara información detallada del equipo como son los componentes y sistemas que lo integran para un correcto desarrollo del método que se

empleara para la confección del plan de mantenimiento utilizando la técnica del FMECA, además de los requerimientos que buscan cumplir alcanzar la producción diaria entregada por el equipo chancador primario KB 63 – 114 e índice de calidad de material entregada por el mismo (granulometría especificada) requerida por la empresa.

Figura 7.- Manual técnico del chancador giratorio KB 63 – 114



Fuente: Proporcionado por (Thyssenkrupp, 2025)

1.4.2 Objetivos de producción diarios

El chancador tiene como misión dentro del sistema traspaso procesar hasta 120 ktpd (ciento veinte mil toneladas por día) obtenidas de la explotación completa del yacimiento minero, con un tamaño de granulometría especificada que dependerá netamente del correcto ajuste del setting de descarga, ya que esto tiene el propósito de mantener los valores de procesamiento en 6.5 pulgadas como condición de calidad del mineral entregado por la máquina.

Para garantizar el correcto funcionamiento del equipo se debe contar con un mantenimiento adecuado para la máquina, ya que de esta forma podrá operar sin que pudiese llegar a producirse alguna posible falla y en consecuencia detenga el proceso de producción o afecte en la calidad del producto que esta entrega. Para este fin se utilizará la técnica del FMECA porque con esta herramienta se podrán identificar las fallas funcionales del equipo o de los sistemas internos que lo componen, con el propósito de

brindar la información que se necesita para la orientación del mantenimiento que se creará a modo de propuesta

1.4.3 Proceso de producción

Para identificar el proceso productivo del sistema traspaso se ocupó la herramienta empleada anteriormente que es el diagrama de flujo o flowsheet, ya que este nos evidencia de forma gráfica las estaciones por donde ingresa y sale la materia prima para la obtención del producto final los cátodos de Cobre. El material procesado será depositado en la correa regenerativa de 4.3 km de largo, esta cumple la función de realizar el transporte del mineral ya chancado con destino a la planta de chancada secundaria (concentradora).

Este material ya procesado entregado por la planta de chancado primario se encargará de alimentar al resto de los equipos y abastecer por completo a la planta concentradora, con el fin de que el ciclo de producción del sistema traspaso se cumpla en óptimas condiciones y no falle, logrando de esta forma que se mantengan los niveles de procesamiento que la empresa busca mantener con un total de 94.5% ktpd (toneladas por día).

1.4.4 Contexto climático en que se verá involucrado el chancador KB 63 – 114

El chancador kb 63 – 114 será construido en la planta nodo 3500, cabe destacar que la planta se ubicara a 3500 metros de altura sobre el nivel del mar, esto provocara que en los periodos de invierno se generen condiciones térmicas extremas que llegan a descender hasta los -20° bajo cero provocando nieve, para esto se implantó la construcción de un domo para el chancador, que cumplirá la función de encapsular el equipo con el propósito de protegerlo de las condiciones externas climáticas en las que operara en los 365 días del año en un proceso de operación continua, además de contener la exposición del polvo sílice, ya que este en consecuencia generaría contaminación en el medio ambiente siendo esto una de las grandes preocupaciones de Codelco y a su vez a los trabajadores que desempeñan sus labores en el resto de las áreas de la planta nodo 3500.

Figura 8.-Sector nodo 3500 en invierno



Fuente: (Fuerza minera, 2025) extraído de:
https://www.facebook.com/fuerza.minera/photos/a.921115521243847/4536842369671126/?locale=ms_MY

1.4.5 Dimensiones, Tipo y capacidad de Chancador KB 63 - 114

El chancador primario giratorio KB 63-114, fabricado por Thyssenkrupp, constituye el equipo principal del sistema de conminución del proyecto Nodo 3500 de Codelco División Andina. Su función es reducir el mineral extraído desde la mina a un tamaño adecuado para la alimentación de la planta concentradora. A continuación, se presentan sus principales características técnicas y operacionales, obtenidas del manual del fabricante.

Tabla 1. Principales características técnicas y operacionales

Parámetro	Especificación técnica
Tipo de trituradora	Giratoria KB 63-114
Material de alimentación	Mineral de cobre
Granulometría de alimentación (ROM)	0 – 1016 mm
Humedad máxima de alimentación	6 %
Densidad específica	2,8 t/m³
Producción mínima	7065 t/h (≈ 120 ktpd)
Resistencia a la compresión	Promedio 120 MPa / Máx. 160 MPa
Ranura de trituración (setting)	240 mm
Granulometría final del producto	0 – 300 mm / P80 ≤ 150 mm
Abertura de la boca del chancador	1600 mm

Diámetro del cono	2900 mm
Carrera del cilindro hidráulico	Máx. 280 mm
Juego entre flancos de torsión (rueda/piñón cónico)	± 15 %

Fuente: Manual técnico del chancador giratorio KB 63-114, fabricante Thyssenkrupp (2016).

El chancador primario KB 63-114 presenta una alta capacidad de procesamiento, alcanzando hasta 120.000 toneladas por día (ktpd), lo que lo posiciona como un equipo crítico dentro del sistema Traspaso de División Andina. Su diseño giratorio de gran diámetro (2900 mm) y su amplia abertura de alimentación (1600 mm) permiten recibir mineral de gran tamaño proveniente directamente del rajo.

La ranura de trituración de 240 mm y la granulometría final $P_{80} \leq 150$ mm garantizan la obtención del tamaño de partícula requerido para la etapa de chancado secundario, asegurando una operación continua y estable.

La resistencia a la compresión del mineral (hasta 160 MPa) y la densidad específica de 2,8 t/m³ evidencian la necesidad de un sistema robusto, con control hidráulico y lubricación eficiente para evitar sobrecargas y desgaste prematuro. Por estas razones, el chancador KB 63-114 se considera un equipo de alta criticidad operacional, cuya confiabilidad depende directamente de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo estructurado.

El accionamiento del chancador giratorio KB 63–114 está compuesto por un motor eléctrico de alta potencia, diseñado para operar de forma continua en condiciones exigentes de carga y temperatura. A continuación, se presentan las principales especificaciones del sistema de accionamiento según el manual del fabricante.

Tabla 2. Accionamiento del Chancador KB 63–114

Parámetro	Especificación técnica
Potencia nominal	1200 kW
Tipo de servicio	S1 (servicio continuo)
Voltaje nominal	4000 V ±10 %
Corriente nominal	228 A
Frecuencia nominal	50 Hz ±2 %
Velocidad nominal	495 rpm
Dirección de rotación	CCW (contrario al sentido del reloj)

Eficiencia a potencia nominal	95,2 %
Factor de potencia	0,80
Rotor a parada de estallido	1450 V
Corriente del rotor	503 A
Par de ruptura	2,5 × par nominal
Momento de inercia	448 kg·m²

Fuente: Manual técnico del chancador giratorio KB 63-114, fabricante (Thyssenkrupp, 2016).

El motor de 1200 kW proporciona la potencia necesaria para sostener una velocidad nominal de 495 rpm, garantizando el procesamiento continuo del mineral a gran escala. Su alta eficiencia (95,2%) y el factor de potencia de 0,8 reflejan un diseño orientado al ahorro energético y la estabilidad operativa. Estas características confirman que el accionamiento es un componente crítico para la confiabilidad global del chancador, cuya falla podría detener completamente el flujo de alimentación hacia las etapas de chancado secundario.

El acoplamiento de seguridad cumple una función esencial dentro del sistema de accionamiento del chancador giratorio KB 63–114, ya que permite proteger los componentes mecánicos del tren de transmisión frente a sobrecargas o bloqueos repentinos del equipo. Este sistema asegura la continuidad operativa evitando daños en el motor, eje o engranajes principales.

Tabla 3. Acoplamiento de seguridad

Parámetro	Especificación técnica
Modelo	BWL 140 especial
Presión hidráulica	90 MPa = 900 bar
Tipo de embrague	Multidisco de acero MTF 514

Fuente: Manual técnico del chancador giratorio KB 63-114, fabricante (Thyssenkrupp, 2016).

El acoplamiento de seguridad BWL 140 opera mediante un sistema hidráulico de alta presión (900 bar) que garantiza una desconexión instantánea en caso de sobrecarga, protegiendo así el sistema motriz y el eje principal del chancador. Su embrague multidisco MTF 514 ofrece una transmisión eficiente del par bajo condiciones normales de operación, además de una rápida respuesta ante eventos críticos. Gracias a este diseño, se reduce el riesgo de fallas catastróficas y se mejora la confiabilidad general del equipo.

CAPÍTULO 2. PROBLEMÁTICA, E IMPLEMENTACIÓN DEL FMECA

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Codelco División Andina es una de las principales generadoras de cobre en el ámbito minero, poseyendo grandes reservas de mineral. Con el fin de expandir su producción, la compañía puso en marcha un proyecto llamado Sistema Traspaso Nodo 3500, donde instalarían un chancador primario. Esta máquina se volvería clave para el proceso de conminución del mineral que comenzará a fines del año 2022, sin embargo, carece de un plan de mantenimiento previsto y esto puede traer consigo la consecuencia directa de alguna falla mayor que repercuta negativamente en la productividad dentro de la empresa.

Por lo tanto, implementar un plan con la finalidad de prevenir cualquier incidente que descontinue el funcionamiento adecuado es indispensable para garantizar durabilidad y fiabilidad. El sector Nodo 3500 de la División Andina de Codelco es el lugar donde se instalará el chancador primario KB 63-114. La máquina es nueva, por lo que no existe un plan de mantenimiento definido para minimizar los riesgos en caso de que algo falle.

Esto podría conducir a una disminución de la producción y fiabilidad que se espera que cumpla el chancador primario KB 63-114, el nivel de producción es de 120 ktpd (mil toneladas por día) con un régimen de granulometría específica de 6.5 pulgadas como condición de calidad de material procesado que se espera que este equipo entregue, lo que tendría un impacto negativo tanto en Codelco como en sus clientes, ya que, todo el material entregado por la planta de chancado primario se encargara de alimentar al resto de los equipos que se ubican en la planta concentradora, logrando de esta forma que el proceso de producción del sistema traspaso se ejecute en óptimas condiciones.

Por lo tanto, es importante desarrollar un plan de mantenimiento lo antes posible para mitigar estos riesgos. para este propósito se utilizará la herramienta FMECA porque, sirve para identificar las posibles fallas que se puedan generar en la máquina mediante un análisis de fallas y de esta forma poder guiar el enfoque del mantenimiento con el fin de evitar que se produzcan averías importantes en el funcionamiento de la trituradora y no proporcione la cantidad adecuada de material procesado que necesita la empresa Codelco división Andina, para cumplir con el propósito de mantener los índices de producción en un total de 94.5% ktpd (toneladas por día),

2.2 MANTENIMIENTO Y SUS TIPOS

El mantenimiento son todas las actividades que deben llevarse a cabo en un orden específico, con el objetivo de mantener los equipos seguros, eficientes y asequibles para su uso. Esto incluye tareas como reparar daños o mantener en funcionamiento los sistemas necesarios. También abarca asegurarse de que todas las instalaciones de producción se mantengan adecuadamente para que sigan funcionando con la máxima eficiencia y rentabilidad.

El equipo de mantenimiento se asegura de que todos los equipos e instalaciones se mantengan en las mejores condiciones en todo momento, lo que evita tiempos de inactividad innecesarios y prolonga la vida útil de estos elementos el mayor tiempo posible. De este modo, el equipo es capaz de mantener las máquinas funcionando sin problemas y ahorrar dinero en reparaciones.

Durante la Segunda Guerra Mundial, los aviones debían someterse a revisiones periódicas para mantener su eficacia. De este modo, la industria aeronáutica podía evitar cualquier avería que pudiera producirse mientras los aviones estaban en uso. Este proceso de mantenimiento consistía en revisar cada componente del avión y realizar las reparaciones o cambios necesarios cada hora. Al cuidar estas máquinas con regularidad, se garantizaba que durasen más y funcionasen correctamente durante toda su vida útil.

A lo largo del transcurso del tiempo, el mantenimiento industrial ha ido creciendo. Ya que los equipos, sistemas y las instalaciones han evolucionado volviéndose más sofisticados. Generando de esta forma mayores requerimientos de mantenciones específicas para cada área de las distintas empresas industriales, con el objetivo de no afectar la disponibilidad de los activos y, en consecuencia, generar una merma en la producción. Entre algunos de los tipos de mantenimientos más usados en las diversas industrias y equipos se encuentran los siguientes:

- **Mantenimiento correctivo:** El mantenimiento correctivo es la actividad técnica que se lleva a cabo cuando algo va mal y el objetivo es restaurar o reparar un activo para que pueda utilizarse según lo previsto. Por ejemplo, si una máquina se avería, el mantenimiento correctivo puede consistir en arreglarla para que siga funcionando en lugar de sustituirla por completo.
- **Mantenimiento preventivo:** El mantenimiento preventivo es el acto de revisar un dispositivo, sistema o equipo sistemáticamente y bajo ciertos criterios para evitar averías causadas por el uso, el desgaste o el envejecimiento. Incluye la supervisión de dispositivos como máquinas (mecánicas y eléctricas), ordenadores, vehículos,

etc., en busca de signos de problemas para poder repararlos/sustituirlos antes de que se conviertan en problemas graves.

- **Mantenimiento predictivo:** El mantenimiento predictivo es una estrategia proactiva que pretende prevenir las averías, estimando cuándo se producirán. Basándose en datos anteriores y algoritmos predefinidos, programa entonces las actividades de mantenimiento para evitarlas. El mantenimiento predictivo es clave en la prevención de averías porque utiliza datos recopilados y algoritmos predictivos para estimar cuándo se producirá un fallo. Esto permite intervenir a tiempo para no causar más daños o interrupciones.
- **Mantenimiento centrado en la confiabilidad:** El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es una metodología que se centra en identificar los fallos potenciales de los activos más importantes dentro de una industria, además de determinar las causas que provocan estas fallas, y su respectiva criticidad. Con el fin de proponer las tareas de control que eviten que se genere algún daño en el activo, en consecuencia, genere pérdidas de producción.

2.3 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD RCM

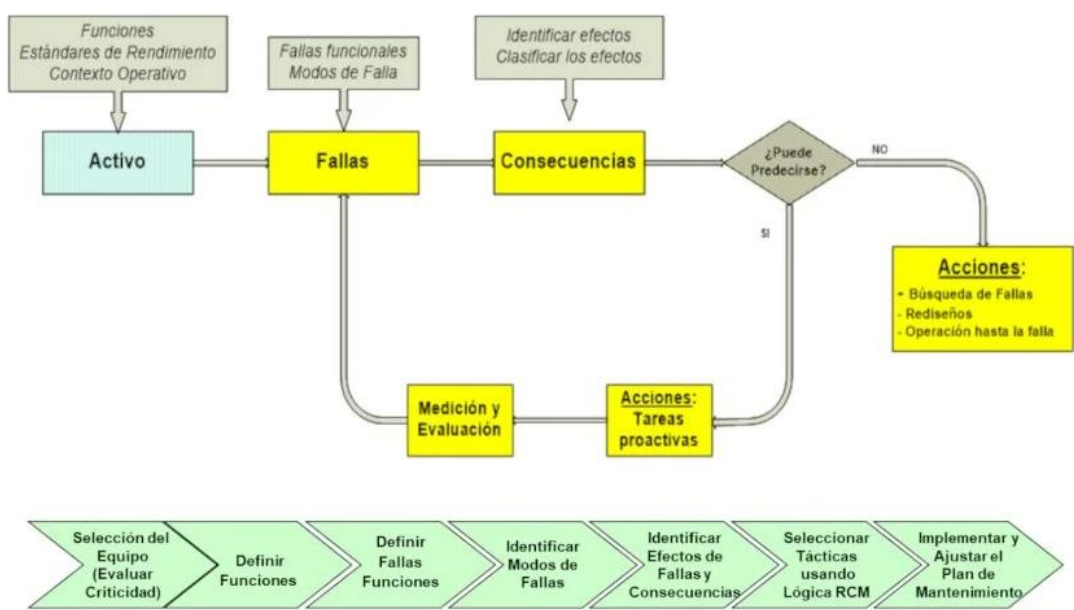
Entre los tipos de mantenimiento nombrados y explicados anteriormente se utilizará el mantenimiento centrado en la confiabilidad, dado que esta metodología centra la búsqueda y clasificación de las fallas funcionales posibles en un activo por medio de la técnica de análisis modal de fallos, efectos y criticidad (F.M.E.C.A), para esta metodología se debe escoger el equipo crítico al que se le realizará este procedimiento, luego se debe definir su función principal dentro de su contexto operacional para establecer las fallas funcionales que impiden que el activo pueda realizar dicha función, posteriormente se establecen los modos de falla, los efectos que producen esas fallas, las consecuencias y las medidas o tareas que se emplearán para evitar que estas ocurran, además de establecer la criticidad de cada falla por medio del número prioridad de riesgo (NPR). Todo esto en conjunto nos brinda la información necesaria para la posterior elaboración del plan de mantenimiento efectivo para el activo que se encuentra en estudio.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad se define como la técnica para llevar a cabo la cantidad exacta de tareas de mantenimiento en el momento adecuado, ya que, si se realizan menos tareas de mantenimiento, se obtendrá un mayor nivel de seguridad y confiabilidad en el equipo. Dentro del contexto de este trabajo, esta metodología se implementará con el fin de identificar las fallas críticas en el equipo, en este caso el chancador primario KB 63-114. Con la finalidad de establecer qué fallas generan

consecuencias que afecten directamente el funcionamiento del equipo, y como resultado impida que el proceso de producción se ejecute de forma correcta.

La metodología del RCM que se empleará se basa en la estrategia de trabajo del análisis modal de fallos, efectos y criticidad (FMECA) de la norma SAE JA 1739, que establece los criterios mínimos que se deben cumplir para que se considere que se está aplicando la metodología RCM de manera correcta. Según esta norma, el proceso del RCM debe responder de manera satisfactoria a las siete preguntas clave en secuencia que se detallan en la misma, además de jerarquizar las fallas mediante la evaluación de los efectos que producen con la ayuda del NPR estableciendo su criticidad, lo que garantiza que la metodología se esté aplicando de manera efectiva y consistente.

Figura 11.9 Proceso del método RCM



Fuente: (Moubray, 1997)

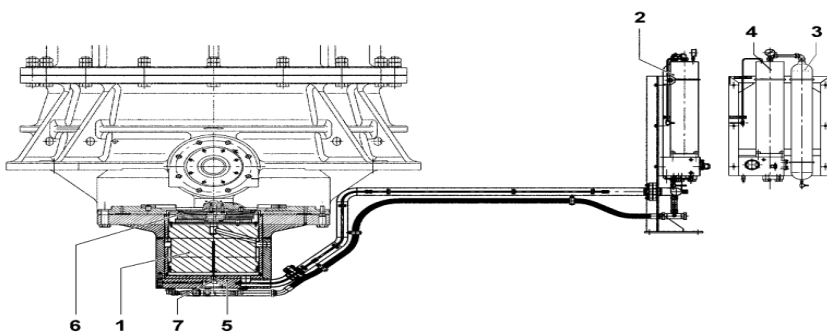
2.4 HERRAMIENTA FMECA: DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE SISTEMAS INTERNOS

Para un correcto análisis del activo y una mejor implementación del método F.M.E.C.A, a continuación, se presenta la descripción técnica de los sistemas internos del chancador giratorio KB 63-114, con el objetivo de identificar sus funciones principales y los posibles modos de falla asociados. El análisis se centra en los sistemas más críticos, determinados por su impacto directo en la disponibilidad y la seguridad operativa del equipo.

- **Sistema hidráulico:** El sistema hidráulico del eje se compone del cilindro hidráulico (1) y del dispositivo de compensación (2), y su función es el ajuste de la ranura de chancado, especialmente cuando se produce desgaste en las herramientas de chancado, y como protección contra sobrecarga.

El dispositivo de compensación sirve para guiar al émbolo verticalmente, especialmente cuando se produce una descarga repentina del eje principal durante la operación. De este modo se evita que el eje se levante de su soporte. El dispositivo de compensación se compone de un depósito de aire comprimido (3) y de un cilindro de compensación (4) que integra una válvula de retención y una válvula de mariposa regulable.

Figura 10.- Sistema Hidráulico



Fuente: Manual chancador primario giratorio KB 63-114 fabricante Thyssenkrupp

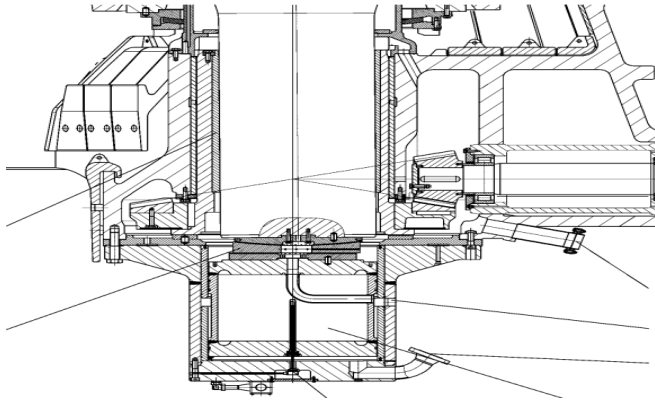
- **Sistema de lubricación por aceite:** Este sistema tiene como función lubricar los componentes internos y externos que están en continuo contacto producto del funcionamiento del equipo, el aceite lubricante se aspira desde el depósito con el fin de alimentar al soporte inferior del eje a través de dos tuberías de aceite independientes (circuito de lubricación interno y externo)

El aceite para el circuito interno es enviado hasta los puntos de apoyo (soporte axial, pieza excéntrica y cilindro hidráulico), a través de una tubería independiente en el brazo de la parte inferior

El aceite para el circuito externo llega al punto de apoyo donde se encuentra el (casquillo, posteriormente de la lubricación de la rueda cónica y del piñón).

Ambas corrientes de aceite refluyen juntas hasta el depósito (tanque) por un canal de retorno en conjunto, además el sistema de lubricación cuenta con un subsistema que tiene como fin controlar las temperaturas del aceite por medio de un enfriador por aire para disminuir la temperatura de los aceites dentro del tanque.

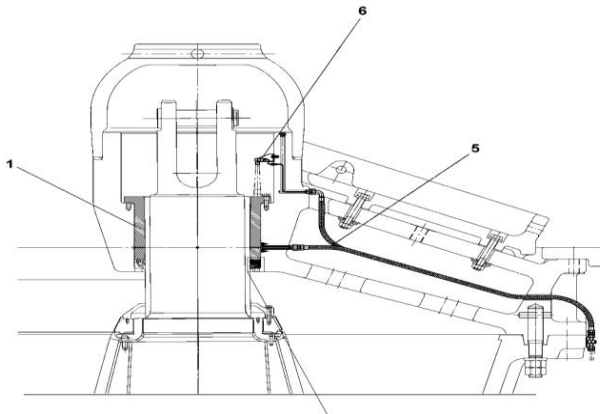
Figura 11.- Sistema de lubricación por aceite



Fuente: Manual chancador primario giratorio KB 63-114 fabricante Thyssenkrupp

- Sistema de lubricación por grasa:** Este sistema tiene como función lubricar la parte superior del eje principal o poste por medio de una bomba de lubricación de accionamiento neumático que bombea grasa, y a su vez la grasa se alimenta desde un tanque por medio de una línea de lubricación anexa a la del sistema de lubricación por aceite, por lo que ambos son totalmente independientes el uno del otro.

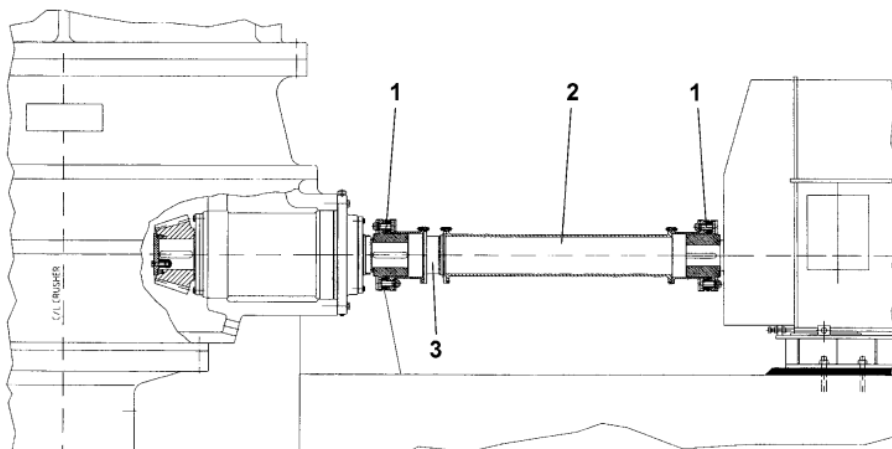
Figura 12.- Sistema de lubricación por grasa



Fuente: Manual chancador primario giratorio KB 63-114 fabricante Thyssenkrupp

- **Sistema motriz:** El sistema motriz es el más importante, ya que le da el arranque al equipo directamente por el motor de accionamiento a través de un embrague multidisco de acero (1) con tubo distanciador (2), un acoplamiento de seguridad (3) y el engranaje intermedio. Además, el embrague multidisco de acero sirve para compensar pequeños errores de alineación entre el pivote del eje del motor y el eje del engranaje intermedio. El acoplamiento de seguridad dispone de un limitador de par con ajuste hidráulico del par, el cual se ajusta modificando la presión hidráulica.

Figura 13.- Sistema motriz

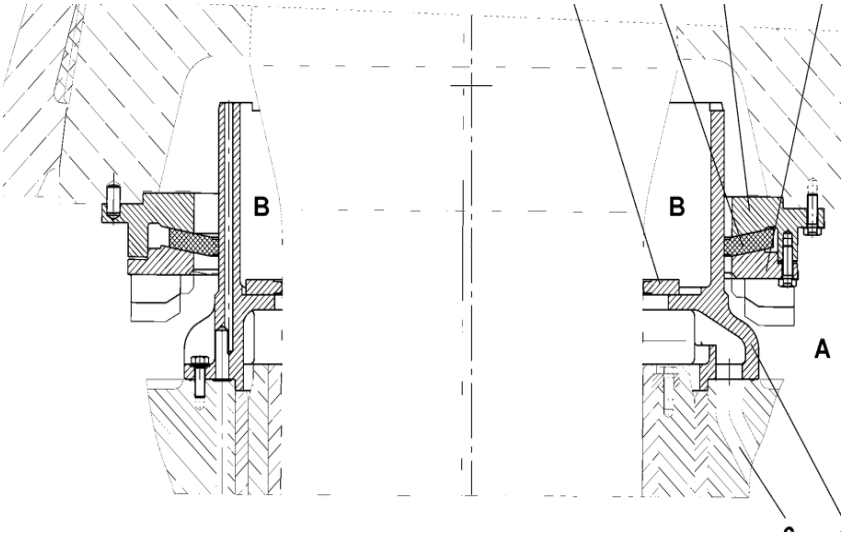


Fuente: Manual chancador primario giratorio KB 63-114 fabricante Thyssenkrupp

- **Sistema de componentes de desgaste:** En este sistema se encuentran todos los componentes que están sometidos a algún tipo de desgaste prematuro, como puede ser el roce entre piezas producto de su funcionamiento dentro de la misma máquina al momento de generar sus labores productivas como también producto de la falta de lubricación llegando a ocasionar desgaste por abrasión, su función principal es proteger las partes o componentes del equipo que interactúan entre sí o con el material al momento de generar la conminación
- **Sistema de aireación por sobrepresión de la junta antipolvo:** Su función es proteger la zona del sistema de lubricación por circulación de aceite dentro del chancador primario giratorio, para esto se utiliza un soplador que genera una corriente continua de aire que pasa por el interior del chancador hasta la cámara de chancado, y tiene como objetivo impedir que penetre el polvo de sílice o alguna otra impureza que al mezclarse con el

fluido lubricante lo contamine, ocasionando que los componentes que están en continuo contacto se deterioren producto del desgaste.

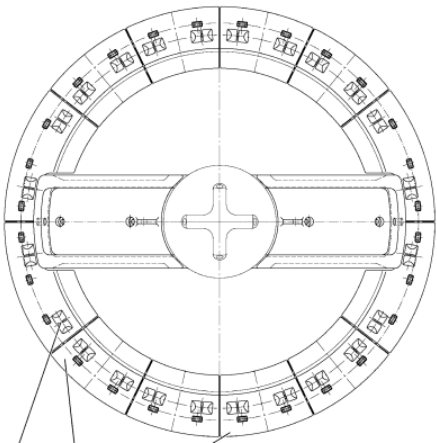
Figura 14.- Sistema de aireación por sobrepresión de la junta antipolvo



Fuente: Manual chancador primario giratorio KB 63-114 fabricante Thyssenkrupp

- **Sistema conjunto araña:** Su función es soportar el extremo superior del eje principal para que el poste pueda girar en forma oscilante generando el chancado del mineral.

Figura 15.- Sistema conjunto araña vista superior



Fuente: Manual chancador primario giratorio KB 63-114 fabricante Thyssenkrupp

2.5. HERRAMIENTA FMECA: ANÁLISIS DE FALLAS, EFECTOS Y CRITICIDAD

La herramienta FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) constituye una de las etapas fundamentales del proceso de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). Su aplicación permite identificar los modos de falla más relevantes de los sistemas internos del chancador primario giratorio KB 63–114, evaluando su impacto sobre la operación, la seguridad y la disponibilidad del equipo.

El análisis se desarrolló conforme a la norma SAE JA1739, mediante la evaluación de tres parámetros:

- Severidad (S): mide la gravedad del efecto de la falla.
- Ocurrencia (O): representa la frecuencia o probabilidad de que la falla se produzca.
- Detección (D): refleja la capacidad de identificar la falla antes de que ocurra.
- El Número de Prioridad de Riesgo (NPR) se obtiene mediante la ecuación:

$$NPR = S \times O \times D$$

Los puntajes se establecieron considerando la experiencia operacional de equipos equivalentes, la información técnica del fabricante Thyssenkrupp, y el juicio de especialistas de mantenimiento.

A continuación, se presenta el análisis FMECA completo para los principales sistemas del chancador KB 63–114.

Tabla 4. FMECA de sistemas críticos del chancador primario KB 63–114

Sistema	Falla funcional	Modo de falla (mecanismo de deterioro)	Efecto de falla	Consecuencias	Detección	Severidad	Ocurrencia	NPR	Acciones recomendadas
Sistema Motriz (motor eléctrico)									
El motor no entrega el torque requerido para el funcionamiento del equipo.	Elevada corriente en devanados por aumento de torque resistente debido a sobrecarga mecánica o desalineación del eje.	Activación del sistema de protección térmica del motor y detención del equipo.	Paralización parcial del sistema Traspaso y pérdida de alimentación al proceso de trituración.	3	5	4	60	Monitoreo de amperaje y ajuste periódico de protecciones térmicas.	
El motor presenta vibraciones anómalas.	Desbalance o desgaste en rodamientos del eje motriz.	Vibraciones y ruido excesivo.	Posible daño en cojinetes y desacople del eje.	4	7	5	140	Inspección vibracional mensual y lubricación de rodamientos cada 500 h.	

El motor pierde potencia durante la operación.	Degradación del aislamiento en bobinados por sobrecalentamiento.	Disminución del torque y aumento de temperatura.	Fallo eléctrico progresivo y pérdida de eficiencia.	5	8	4	160	Termografía infrarroja trimestral y limpieza interna del motor.	
El motor no arranca.	Falla en contactor o relé térmico por fatiga eléctrica.	El circuito de arranque no cierra.	Equipo inoperativo hasta recambio del componente.	3	6	5	90	Verificación de panel eléctrico y pruebas de continuidad semestrales.	
El motor se apaga intempestivamente.	Falsa señal de protección o falla en sensor de temperatura.	Interrupción no deseada del suministro.	Pérdida de continuidad operativa y necesidad de reinicio manual.	3	5	4	60	Calibración anual de sensores y verificación del circuito de control.	
Sistema Hidráulico									

No se regula correctamente la apertura del manto.	Fuga interna en cilindro hidráulico por desgaste de sellos.	Pérdida de presión hidráulica.	Desajuste del setting de descarga.	4	7	5	140	Revisión semanal de estanqueidad y reemplazo de sellos cada 1000 h.	
Los cilindros presentan movimiento irregular.	Contaminación del fluido hidráulico con partículas metálicas.	Flujo inestable y cavitación.	Vibraciones y pérdida de control del ajuste.	5	8	5	200	Filtrado continuo del aceite y cambio de filtros cada 500 h.	
No se activa la válvula de seguridad.	Fatiga o pegado del resorte interno.	El sistema no libera presión ante sobrecarga.	Riesgo de daño en líneas hidráulicas.	4	9	4	144	Inspección funcional trimestral de válvulas y limpieza preventiva.	
Baja presión general del sistema.	Desgaste en la bomba hidráulica principal.	Pérdida de caudal.	Lentitud en el accionamiento	5	8	6	240	Revisión semestral de bomba y	

			y fallas en regulación.					control de presión en operación.	
Exceso de temperatura del aceite.	Ineficiencia del enfriador por incrustaciones.	Sobrecalentamiento del circuito hidráulico.	Aceleración del desgaste de sellos y válvulas.	4	7	6	168	Limpieza del intercambiador cada 1000 h y monitoreo de temperatura.	
Sistema de Lubricación									
No llega aceite a rodamientos principales.	Obstrucción del filtro o línea de retorno.	Falta de lubricación.	Daño severo en rodamientos.	3	9	6	162	Cambio de filtros y control de presión del circuito.	
Aceite contaminado con partículas.	Falla del sistema de filtrado o sellos.	Desgaste abrasivo interno.	Reducción de vida útil de cojinetes.	4	8	6	192	Monitoreo de limpieza por análisis de aceite cada 250 h.	

Fuga externa en conexiones.	Aflojamiento por vibración.	Pérdida de aceite y contaminación ambiental.	Riesgo de paro y deterioro de componentes.	3	6	5	90	Inspección visual diaria y reapriete de conexiones.	
Fallo de la bomba de lubricación.	Desgaste del rotor o cavitación.	No se mantiene el caudal requerido.	Riesgo de detención inmediata.	4	9	5	180	Monitoreo de presión y vibración de la bomba.	
Alta temperatura del aceite.	Enfriador obstruido o flujo insuficiente.	Incremento de viscosidad y degradación del aceite.	Pérdida de propiedades lubricantes.	3	8	5	120	Limpieza de serpentines y control del sistema de enfriamiento.	
Sistema de Aireación y Sellado									
Ingreso de polvo al interior del equipo.	Fallo del sello laberíntico por desgaste.	Contaminación de aceite y componentes.	Aumento de fricción y desgaste prematuro.	4	7	5	140	Revisión de sellos y presión de aire semanal.	

Caída de presión en el sistema de aire.	Fuga en líneas o acople flexible.	Menor flujo de aire en sellado.	Ingreso de partículas finas.	4	6	6	144	Inspección de fugas y reemplazo de acoples cada 1000 h.	
Obstrucción del filtro de aire.	Acumulación de polvo o aceite.	Disminución del caudal.	Eficiencia reducida del sellado.	3	5	6	90	Limpieza de filtros semanal y cambio mensual.	
Compresor fuera de servicio.	Fallo del motor o falta de mantenimiento.	Sistema de aire inactivo.	Sellado inefectivo y contaminación interna.	5	8	4	160	Mantenimiento preventivo del compresor cada 500 h.	
Fallo en válvula reguladora.	Desgaste interno o pérdida de calibración.	Presión variable de suministro.	Ineficiencia en el sellado de aire.	3	6	5	90	Calibración semestral y reemplazo de válvulas deterioradas.	

Fuente: Elaboración propia a partir del *Manual técnico del chancador giratorio KB 63–114*, fabricante Thyssenkrupp (2016), y lineamientos de la norma SAE JA1739.

Del análisis global se desprende que los sistemas hidráulicos, de lubricación y de transmisión presentan los valores más elevados de NPR, con rangos entre 160 y 240, lo que los clasifica como sistemas críticos para la operación del chancador.

Las causas predominantes corresponden a contaminación de fluidos, desgaste de componentes y pérdida de presión, factores que pueden generar detenciones no programadas y disminución del throughput diario (ktpd).

El sistema motriz mostró un riesgo moderado ($NPR \leq 140$) gracias a la presencia de protecciones térmicas y monitoreo eléctrico constante, mientras que el sistema de aireación y sellado presenta fallas frecuentes, pero de baja severidad, que pueden controlarse con rutinas preventivas e inspecciones visuales.

Este análisis constituye la base para la aplicación del árbol de decisión RCM (sección 2.5), donde se definen las tareas específicas de mantenimiento preventivo, predictivo o correctivo controlado, en función de la criticidad de cada modo de falla.

2.6 ÁRBOL DE DECISIÓN RCM Y DEFINICIÓN DE TAREAS

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés: Reliability Centered Maintenance) se basa en la identificación de funciones críticas, fallas potenciales y consecuencias operacionales con el fin de seleccionar estrategias de mantenimiento adecuadas para cada componente.

Una vez completado el análisis FMECA, el paso siguiente consiste en aplicar el árbol de decisión RCM, herramienta que permite determinar el tipo de tarea de mantenimiento más apropiada según la naturaleza de la falla, su modo de detección y sus consecuencias sobre la operación, la seguridad o el medio ambiente.

Este árbol considera una serie de preguntas estructuradas que guían la elección entre mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo o rediseño, priorizando la prevención de fallas funcionales y la optimización de costos de mantenimiento.

Para la ejecución de las 7 preguntas del método RCM se utilizará el equipo chancador primario giratorio KB 63 – 114 con el fin de recopilar la mayor cantidad de información utilizando la herramienta de la tabla de análisis modal de fallos, efectos y criticidad F.M.E.C.A de la norma SAE 1739, a fin de así identificar las posibles fallas

que puedan presentarse en este equipo que impidan su correcto funcionamiento, e implementar las medidas de control y posibles soluciones.

1. ¿Cuál es la función del activo?: esta pregunta hace referencia a cuál es la función del activo en su contexto operacional en el que se desenvuelve cotidianamente o a futuro (equipos nuevos), identificando lo que el usuario desea que la máquina logre un nivel de desempeño aceptable (es la función dentro de los estándares de ejecución que se espera que cumpla el equipo, máquina o subsistema)?
2. ¿Cuál es la falla funcional del activo?: esta pregunta hace referencia a cuál es la falla funcional del activo al cumplir sus funciones operacionales, en otras palabras, son las razones por las que el equipo deja de hacer lo que el usuario desea que haga (en que forma falla el equipo, con respecto con respecto a la función que cumple en su contexto operacional).
3. ¿Cuáles son los modos de falla del equipo?: Esta pregunta hace referencia a cuál es el modo de falla que genera como consecuencia una falla funcional, en otras palabras, son todos los sucesos que al momento de generarse ocasionan una falla funcional y en consecuencia genere que el activo no cumpla las labores que el usuario desea (que causa cada falla funcional), existen dos tipos de fallas funcionales tales como:
 - Falla funcional total: esta falla genera la incapacidad de que un equipo esté operando con normalidad.
 - Falla funcional parcial: es lo que se denomina falla oculta. El equipo funciona, pero no al estándar de ejecución que solicitó el cliente (el equipo sigue funcionando, pero no está produciendo lo que requiere el cliente en ámbitos de producción o calidad).
4. ¿Cuáles son los efectos de dichas fallas en el equipo?: Esta pregunta hace referencia a cuál es el efecto o síntoma que genera dicha falla funcional en el activo, en otras palabras, sirve para darse cuenta cuando se está activando ese modo de fallo para posteriormente generar una actividad que identifique dicho modo de falla, con el fin de evitar que esta llegue a niveles más altos y en consecuencia genere una falla catastrófica.

En la segunda etapa de la aplicación de la metodología RCM se establecen las consecuencias de las fallas, previamente identificadas en el paso número uno, a través de la aplicación de la quinta pregunta básica del RCM

5. ¿Qué consecuencias generan dichas fallas?: Esta pregunta hace referencia a cuál es la consecuencia que genera la falla. En otras palabras, se trata acerca de en qué forma afectaría en el activo que ocurra dicha falla (como impacta cada falla).

Los tipos de consecuencia que se consideran en esta pregunta, el número de grados de importancia y que tanto afecta la ocurrencia de la falla son:

- Consecuencia de la seguridad humana: Se trata sobre cuya ocurrencia puede implicar el daño físico o la muerte de una o varias personas
- Consecuencias de seguridad medioambiental: Se trata de cuya ocurrencia implica daños al equilibrio del medio ambiente, calidad del aire, equilibrio de ecosistema, etc.
- Consecuencias operacionales: Se trata de cuya ocurrencia, genera afectaciones en la operación del sistema o en el proceso productivo.
- Consecuencias económicas: Se trata sobre, cuyas ocurrencias implican altos niveles de costos de dinero desde el punto de vista operativo, productivo, de mantenimiento, etc.

En la tercera etapa de la aplicación de la metodología RCM se establecen las estrategias de mantenimiento, para la información previamente identificada en los pasos número uno y dos, a través de la aplicación de la sexta y séptima preguntas básicas del RCM

6. ¿Qué se debe hacer para predecir o evitar que se genere dicha falla?: Esta pregunta hace referencia a que acciones se deben generar para poder evitar o prevenir que se generen cada falla funcional ya identificadas por medio del resto de preguntas desarrolladas en los pasos anteriores, otras palabras, sirve para generar las actividades de mantenimiento que puedan evitar que se genere cada falla funcional.

Esto se realizará sobre la base de una serie de tareas proactivas tales como monitoreo de condición, el cual consiste en aplicar técnicas y procedimientos de mantenimiento predictivo con el fin de poder identificar el estado real de funcionamiento de la máquina, además de mantenimiento preventivo, sustitución y reacondicionamiento cíclicos. En el caso en que no sea posible realizar un plan

de mantenimiento centrado en la confiabilidad “RCM” por razón de fuerza mayor para algún activo, se puede emplear la técnica del ACR análisis causa raíz este método tiene como fin identificar el problema principal que estaría generando dicha falla funcional y atacarla. En situaciones de alta complejidad en que ninguno de los métodos anteriores pudo ser aplicado, se sugiere rediseñar el activo para aplicar el mantenimiento correctivo correspondiente.

7. ¿Qué se debe hacer si no se puede prevenir o predecir la falla?: Esta pregunta hace referencia a las acciones default, que consisten en el estado de la falla, y son utilizadas cuando no es posible identificar y una tarea proactiva que tenga efectividad ante la falla. Dentro de estas acciones se tiene la búsqueda de fallas, el rediseño del activo o equipo y la acción de generar la corrección de la falla (mantenimiento correctivo) o mantenimiento no programado.

Estas preguntas permiten establecer el tipo de tarea aplicable a cada modo de falla de acuerdo con los siguientes criterios:

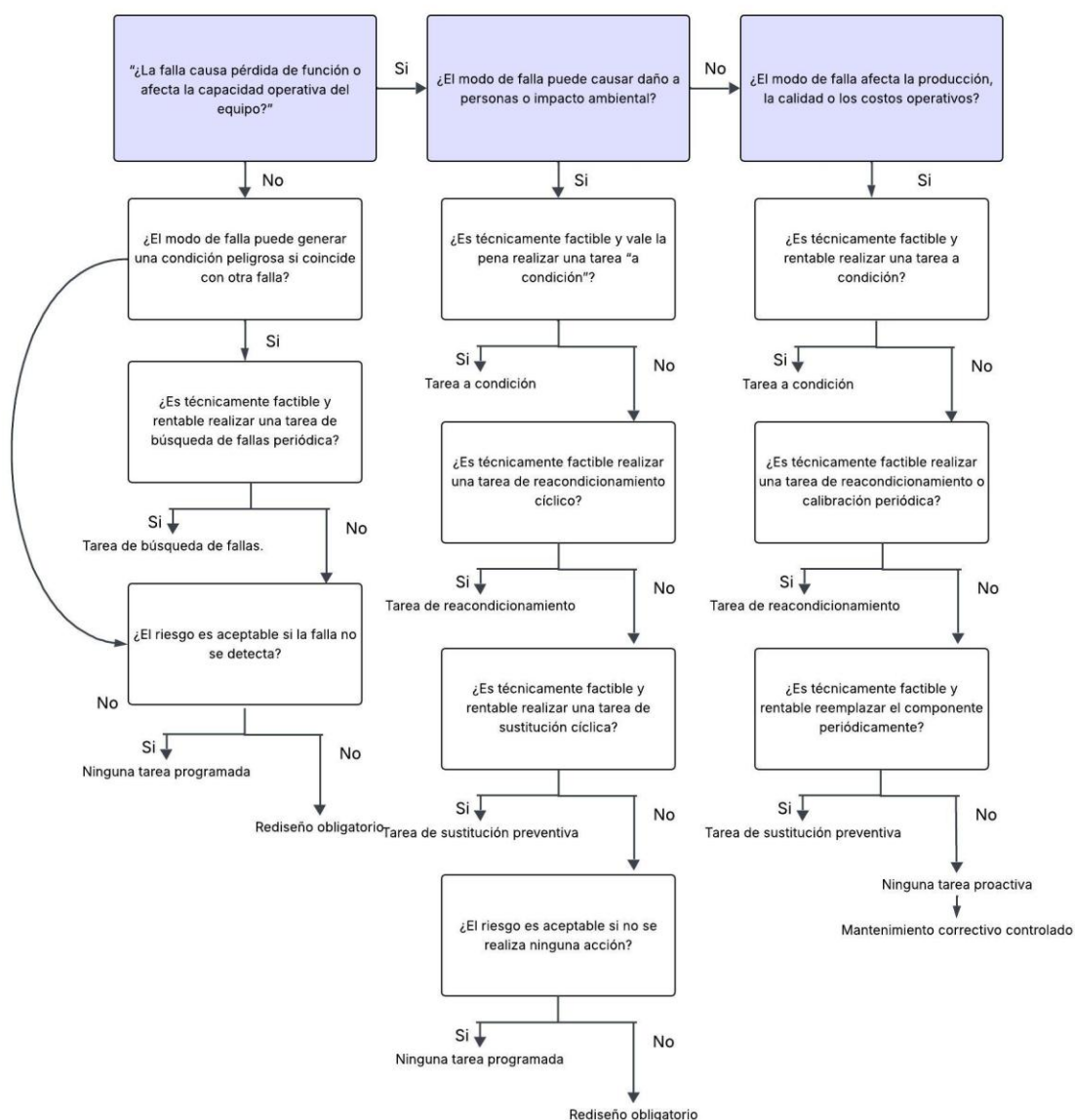
- ¿La falla tiene consecuencias evidentes o detectables?
Si es detectable, se asigna una tarea predictiva (on-condition), basada en el monitoreo del estado del equipo.
- ¿Existen tareas proactivas capaces de prevenir la falla?
Si la falla es prevenible, se recomienda una tarea preventiva sistemática, como la sustitución o inspección periódica.
- ¿La tarea preventiva o predictiva es técnica y económicamente viable?
Si la tarea no es viable o no existe, se determina si es aceptable operar hasta la falla (mantenimiento correctivo controlado) o si se requiere rediseño.
- ¿La falla tiene impacto en la seguridad o el medio ambiente?
Si la respuesta es sí, se da prioridad a acciones preventivas o rediseños para mitigar el riesgo.

El árbol de decisión del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) permite determinar la estrategia de mantenimiento más adecuada para cada modo de falla identificado en el análisis FMECA. Este proceso se basa en una secuencia lógica de preguntas que guían la selección entre tareas predictivas, preventivas, correctivas o de rediseño, según las consecuencias y la posibilidad de detección de la falla.

El siguiente árbol de decisión fue elaborado considerando las siete preguntas fundamentales del método RCM, aplicadas al chancador primario giratorio KB 63–114,

con el propósito de definir las acciones óptimas para mantener su operatividad y reducir el riesgo de fallas críticas.

Figura 16. Árbol de decisión RCM aplicado al chancador primario giratorio KB 63-114



Fuente: Elaboración propia a partir del análisis FMECA y metodología RCM aplicada al chancador primario giratorio KB 63-114 (Codelco División Andina, 2024).

1.4.6 Aplicación del árbol a los sistemas críticos

Con base en las respuestas obtenidas en el FMECA, se aplicó la secuencia del árbol a los tres sistemas críticos del chancador: motriz, hidráulico y de lubricación. El resultado permitió clasificar las fallas según la acción más adecuada:

Tabla 5. Definición de tareas de mantenimiento según análisis de fallas

Sistema	Modo de falla	Pregunta RCM aplicada	Tipo de tarea definida	Tarea recomendada	Frecuencia
Motriz	Sobrecalentamiento del motor por sobrecarga mecánica	¿La falla es detectable mediante monitoreo? → Sí	Predictiva (On Condition)	Monitoreo de corriente y temperatura de bobinados vía SCADA	Semanal
Motriz	Degradación de aislamiento eléctrico	¿Es prevenible con inspección periódica? → Sí	Preventiva programada	Prueba de resistencia de aislamiento y limpieza interna	Trimestral
Motriz	Falla en contactores de arranque	¿Es previsible o detectable? → No / Consecuencia menor	Correctiva controlada	Reemplazo planificado de contactores y verificación de terminales	Según condición
Hidráulico	Contaminación del fluido hidráulico	¿Es detectable antes de ocurrir? → Sí	Predictiva (On Condition)	Análisis de aceite y control de contaminación según norma ISO 4406	Cada 250 h
Hidráulico	Fuga interna en cilindros	¿Es prevenible con inspección periódica? → Sí	Preventiva programada	Sustitución de sellos y prueba de estanqueidad	Cada 1000 h
Hidráulico	Desgaste de bomba principal	¿Es detectable mediante monitoreo? → Sí	Predictiva (On Condition)	Monitoreo de presión y caudal hidráulico	Mensual
Lubricación	Obstrucción de filtros	¿Es prevenible con mantenimiento programado? → Sí	Preventiva programada	Cambio sistemático de filtros y purga de líneas	Cada 500 h

Lubricación	Aceite contaminado	¿Es detectable antes de falla? → Sí	Predictiva (On Condition)	Análisis de laboratorio y reemplazo del fluido si se exceden límites ISO 4406	Cada 250 h
-------------	--------------------	-------------------------------------	---------------------------	---	------------

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del análisis RCM y la aplicación de la herramienta FMECA al chancador primario KB 63-114. Basado en la norma SAE JA1011 (2013) y metodología de Nowlan & Heap (1978).

El análisis RCM aplicado al chancador primario giratorio KB 63–114 permitió establecer las tareas de mantenimiento adecuadas según la naturaleza, detectabilidad y consecuencias de cada modo de falla identificado en la herramienta FMECA. A partir de la evaluación de criticidad, se definieron acciones predictivas, preventivas y correctivas controladas, orientadas a mantener la disponibilidad operativa y reducir la probabilidad de fallas no programadas.

Las tareas predictivas (On Condition) fueron asignadas a fallas cuya evolución puede ser detectada mediante variables de condición, tales como temperatura, corriente eléctrica, presión o contaminación del aceite. Estas tareas permiten anticipar el fallo y programar la intervención sin afectar la continuidad de operación, destacando el monitoreo de corriente y temperatura de los bobinados del motor y el análisis de contaminación del aceite hidráulico y de lubricación como actividades críticas de diagnóstico.

Las tareas preventivas programadas se aplicaron a fallas de desgaste progresivo o por fatiga, donde la probabilidad de ocurrencia aumenta con el tiempo o las horas de operación. Entre estas destacan la prueba de aislamiento eléctrico, la sustitución de sellos hidráulicos y el reemplazo periódico de filtros, con frecuencias definidas entre 250 y 1000 horas, basadas en la experiencia del fabricante y los registros operativos del equipo.

Por su parte, las tareas correctivas controladas se asignaron únicamente a fallas de baja severidad o impacto operacional limitado, tales como las fallas en contactores de arranque. En estos casos, la estrategia definida busca optimizar los recursos de mantenimiento, actuando sólo cuando la condición del componente lo justifica.

De esta manera, la aplicación del árbol de decisión RCM permitió establecer un plan de mantenimiento racional y jerarquizado, enfocado en la confiabilidad y la gestión proactiva del riesgo operativo. Las tareas priorizadas aseguran la continuidad del proceso de trituración, minimizan las detenciones no programadas y contribuyen a mantener los niveles de producción establecidos para el nodo 3500 de Codelco División Andina.

2.7. TABLAS DE CRITICIDAD Y JUSTIFICACIÓN DE PUNTAJES NPR

El análisis de criticidad dentro de la metodología FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) permite priorizar las fallas de acuerdo con su impacto en la operación, seguridad y costos de mantenimiento. Para ello, se utiliza el Número de

Prioridad de Riesgo (NPR o RPN, por sus siglas en inglés), obtenido mediante la multiplicación de tres factores:

$$NPR = S \times O \times D$$

Donde:

- **S (Severidad):** mide la magnitud del efecto de la falla sobre la operación o la seguridad.
- **O (Ocurrencia):** indica la probabilidad de que la falla se presente.
- **D (Detección):** representa la capacidad del sistema o mantenimiento para detectar la falla antes de que ocurra.

Los valores de estos parámetros se asignan mediante escalas de 1 a 10, donde un valor alto representa mayor severidad, mayor frecuencia de ocurrencia o menor posibilidad de detección.

El NPR resultante se emplea para jerarquizar los modos de falla y definir las acciones prioritarias de mantenimiento dentro del plan propuesto.

Tabla 6. Escala de Severidad (S)

Valor	Descripción	Criterio de evaluación
1 – 2	Insignificante	Sin impacto en la operación ni en la calidad del producto.
3 – 4	Menor	Interrumpe brevemente la operación, sin afectar la seguridad ni la producción.
5 – 6	Moderada	Reduce parcialmente la capacidad de procesamiento o genera reproceso.
7 – 8	Grave	Provoca detención parcial del sistema y pérdida de producción.
9 – 10	Catastrófica	Compromete la seguridad del personal, daña equipos o produce pérdida total de operación.

Fuente: Elaboración propia basada en criterios de la norma SAE JA1011 (2013) y manual de confiabilidad industrial de Nowlan & Heap (1978).

Tabla 7. Escala de Ocurrencia (O)

Valor	Descripción	Frecuencia estimada de ocurrencia
1 – 2	Rara	Falla remota o nunca observada.
3 – 4	Baja	Falla poco probable, menos de 1 vez al año.
5 – 6	Media	Falla ocasional, entre 1 y 3 veces al año.
7 – 8	Alta	Falla frecuente, observada mensualmente.
9 – 10	Muy alta	Falla casi inevitable o recurrente semanalmente.

Fuente: Elaboración propia según metodología FMECA aplicada al chancador KB 63–114.

Tabla 8. Escala de Detección (D)

Valor	Descripción	Capacidad de detección
1 – 2	Excelente	Falla siempre detectada mediante monitoreo automático.
3 – 4	Buena	Falla generalmente detectada antes de generar paro.
5 – 6	Moderada	Falla detectada sólo por inspecciones manuales o síntomas.
7 – 8	Baja	Detección difícil, requiere diagnóstico especializado.
9 – 10	Nula	Falla no detectable hasta que ocurre la avería.

Fuente: Elaboración propia basada en criterios de confiabilidad industrial (SAE JA1011).

A partir de las escalas anteriores y los resultados del análisis FMECA, se determinaron los valores de Severidad, Ocurrencia y Detección para cada modo de falla identificado en los subsistemas críticos del chancador primario (motriz, hidráulico y lubricación).

Tabla 9. Matriz de criticidad

Sistema	Modo de falla	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)	NPR = S×O×D	Nivel de criticidad
Motriz	Sobrecalentamiento del motor por sobrecarga mecánica	8	6	3	144	Alta
Motriz	Degradación de aislamiento eléctrico	7	5	4	140	Alta
Motriz	Falla en contactores de arranque	5	4	5	100	Media
Hidráulico	Contaminación del fluido hidráulico	9	5	3	135	Alta
Hidráulico	Fuga interna en cilindros	6	4	4	96	Media
Hidráulico	Desgaste de bomba principal	8	5	5	200	Crítica
Lubricación	Obstrucción de filtros	6	6	4	144	Alta
Lubricación	Aceite contaminado	7	5	3	105	Media-Alta

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis FMECA del chancador primario KB 63–114, Codelco División Andina.

Del análisis de criticidad se observa que las fallas asociadas a los subsistemas motriz e hidráulico presentan los valores NPR más elevados, lo que indica una alta probabilidad de impacto en la operación y en la disponibilidad del equipo. En particular, el desgaste de la bomba principal (NPR = 200) y el sobrecalentamiento del motor (NPR = 144) se clasifican como fallas críticas, dado que su ocurrencia puede provocar detenciones prolongadas en la planta de chancado primario y pérdidas de producción superiores a 120 ktpd.

Las fallas de contaminación de aceite y obstrucción de filtros también registran niveles de criticidad alta, principalmente por su efecto acumulativo sobre el rendimiento del sistema hidráulico y la eficiencia del sistema de lubricación. Estas condiciones justifican la implementación de un monitoreo predictivo continuo, acompañado de inspecciones de laboratorio y control de pureza conforme a la norma ISO 4406. En contraste, las fallas de baja severidad y menor probabilidad de ocurrencia, como la falla

en contactores de arranque, se consideran de criticidad media, por lo que pueden ser gestionadas mediante mantenimiento correctivo controlado sin afectar significativamente la continuidad operacional.

La jerarquización de los valores NPR permitió definir una priorización de acciones de mantenimiento, orientando los recursos hacia los subsistemas más críticos y estableciendo un esquema de intervención preventiva basado en evidencia. Con ello se busca reducir el índice global de fallas, aumentar el tiempo medio entre fallas (MTBF) y mantener la disponibilidad operacional del chancador sobre el 95%, conforme a los estándares de confiabilidad definidos por la División Andina de Codelco.

El desarrollo de las tablas de criticidad y la justificación de los puntajes NPR evidencian que el chancador primario KB 63–114 concentra sus modos de falla más severos en los sistemas motriz e hidráulico, debido a las elevadas exigencias de torque, presión y temperatura de operación. La aplicación sistemática del análisis FMECA permitió cuantificar objetivamente el riesgo, orientando la toma de decisiones hacia estrategias de mantenimiento predictivo y preventivo que maximizan la confiabilidad del equipo y disminuyen los costos asociados a detenciones no programadas.

2.8. COSTO BENEFICIO

El análisis de costo–beneficio permite evaluar la rentabilidad y conveniencia técnica del plan de mantenimiento propuesto para los sistemas críticos del chancador primario KB 63–114. Su propósito es comparar los costos estimados de implementación de las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo frente a los beneficios económicos asociados a la reducción de fallas, optimización de la disponibilidad y disminución de los tiempos de parada no programada.

Esta evaluación se desarrolla bajo el principio de que una inversión en mantenimiento planificado genera ahorros sostenidos, al evitar pérdidas de producción, costos de reparación mayores y riesgos operacionales. Los valores presentados se basan en estimaciones hipotéticas sustentadas en datos promedio de faenas mineras con equipos de similares características (Codelco, 2024).

Tabla 10. Análisis costo beneficio

Concepto	Escenario sin plan (correctivo reactivo)	Escenario con plan propuesto (RCM/FMECA)	Diferencia / Beneficio
Horas promedio de detención mensual	48 h	16 h	-32 h
Costo promedio por hora detenida (USD/h)	2.500	2.500	—
Pérdidas mensuales por detenciones (USD)	120.000	40.000	Ahorro: 80.000
Costo mensual de mantenimiento (mano de obra, insumos, instrumentos)	20.000	35.000	+15.000
Costo total mensual (fallas + mantenimiento)	140.000	75.000	Ahorro neto: 65.000
Disponibilidad operativa promedio	87 %	96 %	+9 %
Producción recuperada (toneladas Cu)	—	+1.200 t/mes	Beneficio productivo
Retorno sobre inversión anual (ROI)	—	223 %	—

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis FMECA del chancador primario KB 63–114, Codelco División Andina.

El análisis costo–beneficio evidencia que la implementación del plan de mantenimiento propuesto representa una reducción del 46 % en los costos totales mensuales asociados a fallas, pasando de USD 140.000 a USD 75.000.

Asimismo, la disponibilidad operacional del equipo aumenta de 87 % a 96 %, lo que equivale a una ganancia productiva aproximada de 1.200 toneladas de cobre por mes. El incremento en costos de mantenimiento planificado (USD +15.000) se compensa ampliamente por los ahorros en pérdidas de producción (USD 80.000), generando un ROI estimado del 223 % anual.

En términos cualitativos, el plan también aporta beneficios en seguridad operativa, confiabilidad técnica y prolongación de la vida útil de componentes críticos, consolidando la sostenibilidad del sistema de chancado.

Para cuantificar la conveniencia económica del plan de mantenimiento propuesto, se calcula la Relación Costo–Beneficio (CBR), que compara los beneficios económicos derivados de la reducción de fallas y detenciones con los costos necesarios para implementar las actividades de mantenimiento. Una Relación Costo–Beneficio de 5.33 indica que:

- Por cada 1 dólar invertido en mantenimiento planificado, la faena obtiene un retorno de 5.33 dólares en ahorro por reducción de fallas, tiempos muertos y pérdidas de producción.
- El plan no solo se paga solo, sino que genera un retorno superior al 500%, convirtiéndolo en una inversión altamente rentable.
- A nivel operacional, la menor cantidad de detenciones implica mayor continuidad, mayor confiabilidad y mejor utilización del equipo crítico.
- A nivel estratégico, la mejora del índice CBR contribuye directamente al cumplimiento de los objetivos de disponibilidad, productividad y control de costos.

**CAPÍTULO 3. PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LOS SISTEMAS
CRÍTICOS DEL CHANCADOR PRIMARIO**

3.1 PLAN DE MANTENIMIENTO

Es un grupo de actividades que tienen como fin lograr que un equipo o maquina este operativo el mayor tiempo posible, dicho de otra forma, es un método que facilita el funcionamiento del equipo sin problemas, producto de la mantención que se le aplica evitando que pequeñas fallas se conviertan en una falla más critica que imposibilite el funcionamiento normal de la máquina

Con el objetivo de elaborar un plan de mantenimiento para un determinado equipo o máquina se debe poner en estudio el equipo, para eso se tiene que identificar el contexto operacional en el que va a operar con el fin de identificar las condiciones a las que se enfrentara, su historial de fallas, ya que con esto se podrá obtener información acerca de las fallas más recurrentes y la razón por qué se detiene la máquina, cuando el equipo es de carácter nueva, no se cuenta con un plan de mantenimiento previsto por lo que se debe utilizar el manual técnico para recolectar la mayor cantidad de información posible y generar el mantenimiento en base a este, además de estudiar equipos de similares características de mayor o menor dimensiones, debido a que cumplen el mismo principio de funcionamiento y en efecto los componentes internos y sistemas son bastante similares para guiar la elaboración del plan

3.2 PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LOS SISTEMAS CRÍTICOS **CHANCADOR KB 63-114**

La elaboración del plan de mantenimiento se sustenta en los resultados obtenidos del análisis FMECA y del árbol de decisión RCM, los cuales permitieron identificar los modos de falla de mayor criticidad en los sistemas motriz, hidráulico y de lubricación del chancador primario KB 63-114. Este plan tiene como objetivo establecer un conjunto estructurado de tareas predictivas, preventivas y correctivas controladas que garanticen la operatividad continua del equipo, la reducción de fallas no programadas y la optimización de recursos de mantenimiento.

La frecuencia, duración y tipo de cada tarea se definieron considerando los siguientes criterios técnicos:

- **Condiciones reales de operación** del chancador (carga, temperatura, horas de servicio y entorno ambiental).
- **Recomendaciones del fabricante ThyssenKrupp (2016)** incluidas en el manual técnico del equipo.
- **Resultados de criticidad NPR** derivados del análisis FMECA, priorizando las fallas con mayor impacto operacional.
- **Experiencia del personal de mantenimiento** y datos históricos de la División Andina de Codelco, que aportan información sobre tiempos estándar de ejecución, intervalos de revisión y disponibilidad de herramientas.

El plan resultante busca implementar una gestión proactiva y basada en condición, mediante el uso de técnicas de monitoreo (vibraciones, temperatura, presión y análisis de aceite) que permitan anticipar los fallos y programar intervenciones antes de que se produzcan detenciones mayores.

De esta manera, se asegura una mayor disponibilidad operativa del chancador, manteniendo el cumplimiento de la meta de procesamiento de 120 000 toneladas por día (tpd) y extendiendo la vida útil de los componentes críticos del sistema.

3.2.1 Sistema motriz

Sistema	Componente	Tareas de mantención	Duración de la actividad	Frecuencia de mantención	Tipo de mantenimiento	Ejecutor especialista	Detención del equipo	Herramientas o componentes necesarios para el trabajo	Stock de repuesto necesario
Motriz	Motor eléctrico	Medición de temperatura de trabajo (ventilación, eje, transmisión)	15 min	Diaria (D)	Predictivo	mecánico	No	Pirómetro	No
		Medición de vibraciones	15 min	Diaria (D)	Predictivo	Mecánico	No	Vibrometro	No
		Medición de velocidad angular de motor (RPM)	15 min	Diaria (D)	Predictivo	Mecánico	No	Tacómetro	No
		Revisión del estado de cables de conexión del motor	20 min	Mensual (M) según condición	Predictivo (basado en condición)	eléctrico	Si (bloqueo)	Inspección visual	No

		Medición de corriente	15 min	Mensual (M)	Predictivo	Eléctrico	No	Multímetro	no
		Limpieza de motor (ventilador)	20 min	Semanal (S)	Preventivo	Mecánico	Si	Soplador industrial o aire instrumentista	No
		Revisión caja de bornes y reapriete de terminales según condición	20 min	Mensual (M)	preventivo	eléctrico	Si	Llave punta corona, chicharra con juego de dados hexagonales	No
		Lubricación de rodamientos	30 min	Semanal (S)	Preventivo	Mecánico lubricador	Según condición	Grasera neumática	Tambor de grasa según especifica ciones

		Apriete de pernos basales	30 min	3 meses	Preventivo	Mecánico	Si	Pistola de impacto más juego de dados de impacto (color negro), llave stillson 48 pulgadas	Si 4 pernos basales 4 golillas planas 4 golillas de presión
		Limpieza de carcasa de motor	30 min	Semanal (S)	Preventivo	Mecánico	Si	Soplador industrial o aire instrumentista	No
	contra eje	inspección de estado de dientes	40 min	9 meses	Preventivo	mecánico	Si	Ensayo no destructivo (tintas penetrantes)	No

		Verificación de backlash (juego de dientes)	40 min	9 meses	preventivo	mecánico	Si	Flexómetro, método del palo de fosforo, Pie de metro.	No
		Verificación de lubricación	20 min	Semanal	Preventivo	Mecánico lubricador	No	Mediante sala de control sensor de temperatura	No

3.2.2 Sistema de lubricación

Sistema	Componente	Tareas de mantención	Duración de la actividad	Frecuencia de mantención	Tipo de mantenimient o	Ejecutor especialista	Detención del equipo	Herramientas o componentes necesarios para el trabajo	Stock de repuesto necesario
Lubricación central por aceite	Motor/bomba	Medición de temperatura de trabajo (ventilación, eje, transmisión), bomba/ motor	15 min	Diaria (D)	predictivo	mecánico	No	pirómetro	No
		Medición de vibraciones Bomba/motor	15 min	Diaria (D)	Predictivo	Mecánico	No	Vibrometro	No
		Medición de velocidad angular de motor (RPM)	15 min	Diaria (D)	Predictivo	Mecánico	No	Tacómetro	No
		Revisión del estado de cables de conexión del motor	20 min	Mensual	preventivo	eléctrico	Si (bloqueo)	Inspección visual	No

				(M) según condición					
		Limpieza de motor (ventilador), motor	20 min	Semanal (S)	Preventivo	Mecánico	Si	Soplador industrial o aire instrumentista	no
		Revisión caja de bornes y reapriete de terminales según condición, motor	20 min	Mensual (M)	preventivo	eléctrico	Si	Llave punta corona, chicharra con juego de dados hexagonales	no
		Lubricación de rodamientos Bomba/ motor	30 min	Semanal (S)	Preventivo	Mecánico lubricador	Según condición	Grasera neumática	Tambor de grasa según especificaciones
		Alineamiento motor- bomba	1 hora	Mensual (M)	preventivo	Mecánico	Si	Alineador laser de ejes	No
		Cambio de sello mecánico (cerámica) bomba centrifuga	1 hora	Anual / Según condición (A)	correctivo	Mecánico hidráulico	Si	Llaves chicharras,	Si (sello mecánico) “1”

								Pistola de impacto, Extractor de impulsor	
		Limpieza de asiento de sello mecánico (cerámica)	20 min	Anual/según condición (A)	correctivo	Mecánico hidráulico	Si	Llaves chicharras, Pistola de impacto, Extractor de impulsor Paños de limpieza	No
		Inspección de nivel de aceite bomba impulsora	20 min	diario	Preventivo	Mecánico hidráulico	Si	Inspección visual	No

		Cambio de aceite bomba impulsora	30 min	6 meses	preventivo	Mecánico hidráulico	Si	Guantes de nitrilo Recipiente de aceite usado Chicharra juego de dados	Si recipiente de aceite nuevo SAE 15W-40 5 LTS (2)
	Válvula relife / (alivio)	Inspección de estado de válvula (fugas)	20 min	Diario (D)	preventivo	Mecánico hidráulico	No	Inspección visual	No
		Inspección de estado de cierre mecánico de válvula	20 min	Semanal (S)	preventivo	Mecánico hidráulico	Si	Llaves punta corona chicharra y dados	No
		Cambio de válvula relife	40 min	Según condición	Correctivo	Mecánico hidráulico	Si	Llaves punta corona, chicharra juego de dados Llave Allen llave stillson	Si válvula relife “1”

		Llenado de TK de aceite	2 horas	Según nivel de aceite	Preventivo	Mecánico hidráulico	Si	Recipiente para vaciado de aceite	Si Tambor de relleno de aceite “según cantidad de tk”
		Inspección nivel aceite	20 min	En cada accionamiento	preventivo	Mecánico hidráulico	No	Inspección visual	Si Tambor de relleno de aceite “según cantidad de tk”
	Manómetro	Inspección de presión de aceite, lubricación según manómetro (150-200 psi)	20 min	Diario (D)	Preventivo	Mecánico hidráulico	No	Inspección visual	No
		Cambio de manómetro por falla	30 min	Según condición	correctivo	Mecánico hidráulico	Si	Llave stillson	Si manómetro “1”

3.2.3 Sistema hidráulico

Sistema	Componente	Tareas de mantención	Duración de la actividad	Frecuencia de mantención	Tipo de mantenimiento	Ejecutor especialista	Detención del equipo	Herramientas o componentes necesarios para el trabajo	Stock de repuesto necesario
Hidráulico (Hidroset)	Motor/bomba	Medición de temperatura de trabajo (ventilación, eje, transmisión), bomba/ motor	15 min	Diaria (D)	Predictivo	Mecánico	no	pirómetro	No
		Medición de vibraciones Bomba/motor	15 min	Diaria (D)	Predictivo	Mecánico	No	Vibrometro	No
		Medición de velocidad angular de motor (RPM)	15 min	Diaria (D)	Predictivo	Mecánico	No	Tacómetro	No
		Revisión del estado de cables de conexión del motor	20 min	Mensual (M) según condición	Preventivo	Eléctrico	Si (bloqueo)	Inspección visual	No

	Dispositivo de compensación	Revisar nivel de presión de aire comprimido	20 min	Diario (D)	Preventivo	Mecánico Hidráulico	No	Inspección visual	No
		Inspección de válvula de retención	20 min	Diario (D)	Preventivo	Mecánico Hidráulico	No	Inspección visual	No
		Inspección de válvula mariposa regulable	20 min	Diario (D)	Preventivo	Mecánico Hidráulico	No	Inspección visual	No
		Inspección de altura de poste (ranura de chancado)	20 min	Diario (D)	Preventivo	Mecánico Hidráulico	No	Inspección visual	No
	Tanque aceite hidráulico TK	Limpieza de rejilla de filtrado tk del aceite	30 min	Semanal	Preventivo	Mecánico hidráulico	Si	Escobilla de acero, paños de limpieza	No
		Cambio de aceite	1 hora	2500 horas	preventivo	Mecánico hidráulico	Si	Recipiente para vaciado de aceite	Si Tambor de relleno de aceite “según cantidad de tk”

		Llenado de TK de aceite	2 horas	Según nivel de aceite	Preventivo	Mecánico hidráulico	Si	Recipiente para vaciado de aceite	Si Tambor de relleno de aceite “según cantidad de tk”
		Limpieza de rejilla de filtrado tk del aceite	30 min	Semanal	Preventivo	Mecánico hidráulico	Si	Escobilla de acero, paños de limpieza	No
		Inspección de nivel de aceite	20 min	En cada accionamiento y luego semanalmente	Preventivo	Mecánico hidráulico	No	Inspección visual	No
	Filtro de aceite	Inspección de estado de filtro	30 min	Semanal (S)	Preventivo	Mecánico hidráulico	Si	Caimán de cadena	No
		Cambio de filtro de aceite	30 min	2500 hr Según horómetro/ cambio de aceite	preventivo	Mecánico hidráulico	Si	Caimán de cadena	Si Filtro de aceite “1”

	Manómetro	Inspección de presión de aceite lubricación según manómetro (150-200 psi)	20 min	Diario (D)	Preventivo	Mecánico hidráulico	No	Inspección visual	No
		Cambio de manómetro por falla	30 min	Según condición	correctivo	Mecánico hidráulico	Si	Llave stillson	Si manómetro “1”
	Cañerías de lubricación (manifold)	Inspección de fugas/ averías	30 min	Diario (D)	Preventivo	mecánico	No	Inspección visual	No
	Válvula relife / (alivio)	Inspección de estado de válvula (fugas)	20 min	Diario (D)	preventivo	Mecánico hidráulico	No	Inspección visual	No
		Inspección de estado de cierre mecánico de válvula	20 min	Semanal (S)	preventivo	Mecánico hidráulico	Si	Llaves punta corona chicharra y dados	No
		Cambio de válvula relife	40 min	Según condición	Correctivo	Mecánico hidráulico	Si	Llaves, punta corona, chicharra, juego de dados	Si válvula relife “1”

								Llave Allen llave stillson	
--	--	--	--	--	--	--	--	-------------------------------	--

3.2.4 Sistema de lubricación por grasa

Sistema	Componente	Tareas de mantención	Duración de la actividad	Frecuencia de mantención	Tipo de mantenimiento	Ejecutor especialista	Detención del equipo	Herramientas o componentes necesarios para el trabajo	Stock de repuesto necesario
Lubricación por grasa (araña)	Bomba de grasa	Medición de temperatura de trabajo	15 min	Diaria (D)	Predictivo	Mecánico	No	pirómetro	No
		Inspección de presión de trabajo y estado de manómetro	15 min	Diaria (D)	Preventivo	Mecánico Lubricador	No	Inspección visual	No
		Inspección de estado de manguera hidráulica y conexiones	20 min	semanal (S)	Preventivo	Mecánico Lubricador	No	Inspección visual	No
		Inspección de nivel de grasa en tanque	20 min	Semanal (S)	Preventivo	Mecánico lubricador	No	Inspección visual	No
		Inspección de estado de válvula de paso	20 min	Semanal (S)	Preventivo	Mecánico	No		No

								Inspección visual	
		Inspección del estado conexión eléctrica	30 min	Cada 3 meses o según condición	Preventivo	eléctrico	No	Inspección visual	
		Cambio de manómetro	30 min	Según condición	correctivo	Mecánico hidráulico	Si	Llave stillson Llave crecen teflon	Si 01 manómetro
		Cambio de llave de paso	30 min	Según condición	correctivo	Mecánico	Si	Llave stillson Llave crecen	Si 1 Llave de paso
		Limpieza de bomba con soplador	30 min	Semanal	correctivo	Mecánico	si	Llave stillson Llave crecen	Soplador inalámbrico
		Cambio de bomba	2 horas	Según falla	Correctivo	Mecánico	Si	Llave stillson Juego de llaves punta corona	1 Bomba de grasa

								Teflón	
		Rellenar grasa de tanque	1 hora	5 días/ según nivel de grasa	Preventivo	Mecánico hidráulico	Si	Espátula guantes de nitrilo	1 tanque de grasa

3.2.5 Sistema de desgaste: cada 3 postes se cambian filas de cóncavas completas, cada poste se cambia cada 3 meses, técnica del “3x1”

Sistema	Componente	Tareas de mantención	Duración de la actividad	Frecuencia de mantención	Tipo de mantenimiento	Ejecutor especialista	Detención del equipo	Herramientas o componentes necesarios para el trabajo	Stock de repuesto necesario
Sistema de desgaste	Manto	Inspección visual de estado de manto	30 min	semanal	preventivo	mecánico	no	Inspección visual	No
		Verificar espesor de manto	1 hora	Mensual	Predictivo	mecánico	Si	Medidor de espesor ultrasonido	No
		Cambio de manto (eje principal con recubrimiento)	30 horas	3 meses	Preventivo	Grupo mecánicos	Si bloqueo	Galletero Oxicorte Soldadura Tecles Pistola impacto Grúa de alto tonelaje	01 Eje principal con recubrimiento (manto)

	revestimientos brazo araña	Inspección de pernos de ajuste	1 hora	Mensual/ cada detención	Preventivo	Mecánico	Si	Inspección visual	No
		Apriete de pernos de ajuste	2 horas	Según condición	Correctivo	mecánico	Si	Pistola impacto, Juego de dados Llave stillson	No
		Cambio de revestimientos brazo araña	4 horas	9 meses	preventivo	Grupo mecánicos	Si	Galletero 7 pulgadas, Oxicorte, Máquina de soldar, electrodos	Si 02 Revestimien to araña
	Protección recámara de chancado	Inspección estado de placas (chocolates)	30 min	Mensual	Preventivo	Mecánico	Si	Inspección visual	No
		Cambio de placas de desgaste (tipo chocolate)	20 horas	9 meses	preventivo	Grupo de mecánicos	Si	Galletero 7 pulgadas, Oxicorte, Máquina de soldar, electrodos	Si Placa de desgaste tipo chocolate según cantidad requerida

3.2.6 Sistema de aireación por sobre presión de la junta antipolvo

Sistema	Componente	Tareas de mantención	Duración de la actividad	Frecuencia de mantención	Tipo de mantenimiento	Ejecutor especialista	Detención del equipo	Herramientas o componentes necesarios para el trabajo	Stock de repuesto necesario
Aireación por sobrepresión de la junta antipolvo	Soplador	Medición de temperatura de trabajo	15 min	Diaria (D)	predictivo	mecánico	No	pirómetro	No
		Inspección de presión de trabajo y estado de manómetro	15 min	Diaria (D)	Preventivo	Mecánico lubricador	No	Inspección visual	No
		Inspección de estado compresor (carcasa)	20 min	semanal (S)	preventivo	Mecánico	No	Inspección visual	No
		Inspección de filtro de aire	20 min	Semanal (S)	preventivo	Mecánico lubricador	No	Inspección visual	No
		Inspección del estado conexión eléctrica	30 min	Cada	Preventivo	Eléctrico	No	Inspección visual	No

				3 meses o según condición					
		Limpieza sopladora	30 min	Semanal	Correctivo	Mecánico	No	Soplador inalámbrico	No
		Mantenión filtro Blower	1 horas	Cada 2 semanas	Preventivo	Mecánico	Si	Juego de llaves punta corona Destornilladores cruz y paleta Llave allen	No
		Cambio filtro blower	1 hora	Mensual Según condición	Preventivo	Mecánico	Si	Juego de llaves punta corona Destornilladores cruz y paleta Llave allen	Si 1 Filtro blower
	Línea de ducto aire instrumentista	Inspección de estado de cañerías de aire instrumentista En busca de “fugas”	30 min	Semanal	Preventivo	Mecánico	No	Inspección visual	No

		Reparación cañería por avería	1 hora	Según condición	Correctivo	Mecánico	Si	Llave stillson Llave crecen teflón n	Si cañería de 1 pulgada
	Manómetro	Cambio de manómetro	30 min	Según condición	correctivo	Mecánico hidráulico	Si	Llave stillson Llave crecen teflón n	Si 01 manómetro
	Llave bola	Cambio de llave de paso	30 min	Según condición	correctivo	Mecánico	Si	Llave stillson Llave crecen	Si 1 Llave de paso
	Filtro Tamiz	Limpieza filtro tamiz	30 min	Semanal	Preventivo	Mecánico	Si	Llave stillson Llave crecen Escobilla de acero Waipe (trapos de limpieza)	No
		Cambio filtro tamiz	1 hora	Según condición	Correctivo	Mecánico	Si	Llave stillson	Si 1

								Llave crecen Teflón n	Filtro tamiz 1 pulgada
	sensor de presión (control de aire instrumentista	Inspección sensor de presión	30 min	Según condición	Preventivo	Mecánico	No	Inspección visual	No
		Cambio sensor de presión	1 hora	Según condición	Correctivo	Mecánico	Si	Llave stillson Llave crecen Teflón n Llave allen	Si 1 Sensor presión conexión 1 pulgada

3.2.7 Sistema conjunto araña

Sistema	Componente	Tareas de mantención	Duración de la actividad	Frecuencia de mantención	Tipo de mantenimiento	Ejecutor especialista	Detención del equipo	Herramientas o componentes necesarios para el trabajo	Stock de repuesto necesario
Conjunto araña	Gorro araña	Inspección estado de gorro araña	30 min	Mensual	Preventivo	Mecánico	No	Inspección visual	No
		Cambio de gorro de araña	4 horas	9 meses	Correctivo	Mecánicos	Si	Pistola de impacto Juego de dados Stillson Grúa alto tonelaje	1 Bomba de grasa
	Brazos araña	Inspección estado de desgaste de revestimientos	30 min	Semanal	Preventivo	Mecánico	No	Inspección visual	No
		Inspección de pernos de ajuste	1 hora	Mensual/ cada detención	Preventivo	Mecánico	Si	Inspección visual	No

		Apriete de pernos de ajuste	2 horas	Según condición	Correctivo	Mecánico	Si	Pistola impacto, Juego de dados Llave stillson	No
		Cambio de revestimientos brazo araña	4 horas	9 meses	Preventivo	Grupo mecánicos	Si	Galletero 7 pulgadas, Oxicorte, Máquina de soldar, electrodos	Si 02 Revestimi ento araña
	Pernos de fijación	Apriete de pernos basales	1 hora	3 meses	Preventivo	Mecánico	Si	Pistola de impacto más juego de dados de impacto (color negro), llave stillson 48 pulgadas	No
	Buge araña	Inspección estado buge	30 min	9 meses	Preventivo	Mecánicos	Si	Inspección visual	No
		Cambio de buje de araña	2 horas	12 meses	Correctivo/preventivo	Grupo mecánicos	Si	Puente grúa	Si

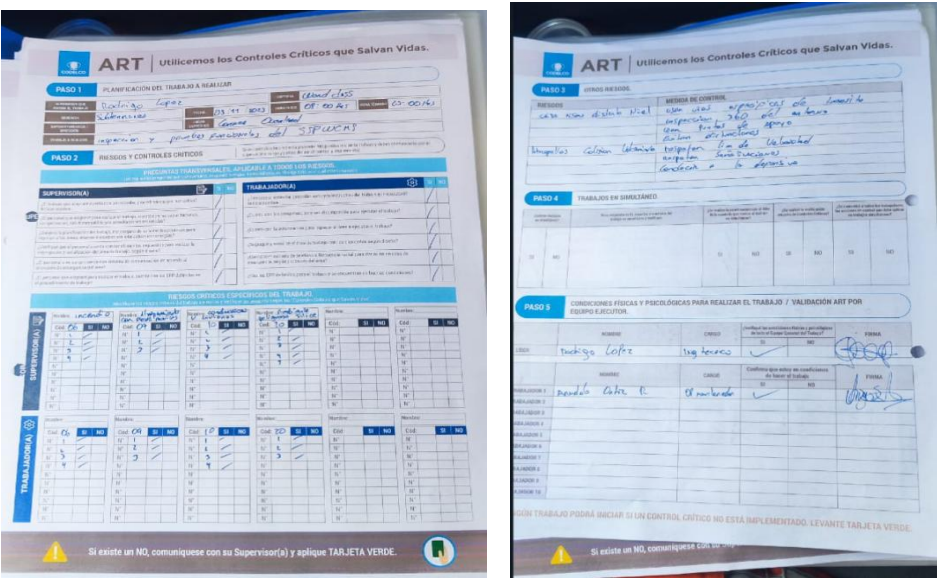
				/según condición				Galletero 7 pulgadas, Oxicorte, Máquina de soldar, electrodos	1 buge para soporte superior eje principal (buge araña)
--	--	--	--	---------------------	--	--	--	--	--

**3.3 DOCUMENTACIÓN PARA LLEVAR A CABO TRABAJOS EN
COMPAÑÍA CODELCO**

Cabe destacar que para llevar a cabo cualquier trabajo dentro de alguna de las divisiones de la compañía Codelco Chile, ya sea del área de mantenciones, mecánica, aseo industrial, montajes, operaciones y producción entre otros siempre se debe rellenar la documentación correspondiente a la labor que se realizara cada compañía tiene su documentación propia.

1. ART: La art. es un documento que la Compañía de Codelco Chile ocupa para la identificación de los riesgos presentes en el desarrollo de la tarea, desde el traslado de herramientas y personal hasta el desarrollo del trabajo y término de este, culminando con el retorno del personal a instalaciones propias. Dentro de este documento se debe establecer cuáles son los controles críticos presentes y se deben rellenar con él todo el equipo de trabajo presente “cuadrilla y supervisores”. Una vez que este documento este lleno y todos los trabajadores que vayan a desempeñar este trabajo estén inscritos e ilustrados con los riegos presentes al desempeñar su labor recién se puede seguir con el resto de documentación, ya que al estar trabajando dentro de la mina y no contar con la art correspondiente se estaría cometiendo una falta grave.

Figura 17. ART



Fuente: Registro interno

2. REGISTRO DE BLOQUEO: Además, dentro de la documentación se debe tener presente que si se deberá intervenir algún equipo o sistema se debe contar con otro documento bastante importante este es la hoja de bloqueo y sirve para solicitar el bloqueo del equipo, este consiste en:

- Apagar equipo
- Aislamiento de energía
- Bloqueo del equipo con dispositivos de bloqueo.
- Comprobación de ausencia de energía. (verificación energía cero)

Este documento tiene la importancia de resguardar la vida de los trabajadores que están interviniendo un equipo, ya que de esta forma no se podrá dar accionamiento hasta que el último trabajador salga de la máquina para desbloquear y poder obtener la llave de accionamiento

Figura 18. Registro de bloqueo

ART Utilicemos los Controles Críticos que Salvan Vidas.



CODELCO DIVISIÓN CHACABAMATA
SISTEMA MINERIA SUSTENTABLE

**REGISTRO DE BLOQUEOS
PERSONALES**

Código : MS-SEA-P-004-RBP
Actual. : 10-05-2022
Versión : 0
Página : 1 de 1

IDENTIFICACIÓN DEL BLOQUEO SECUNDARIO

Actividad: _____ Autorización: SI ☐ No ☐

Excmo. de la Intervención: _____ Cargo: _____ Empresa: _____ Fecha: _____ Hora: _____ Firma: _____

LISTADO DE EQUIPOS Y/O SISTEMAS BLOQUEADOS

TAB.	Descripción	Est. de Bloqueo	Caja de Bloqueo	Nº Condato

BLOQUEOS TERCEROS

Nº	Nombre	Empresa	Candado	BLOQUEO			DESLOQUEO		
				Fecha	Hora	Firma	Fecha	Hora	Firma
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

BLOQUEO SECUNDARIO: DESBLOQUEO

Operador de la Intervención: _____ Cargo: _____ Empresa: _____ Fecha: _____ Hora: _____ Firma: _____

OBSERVACIONES

Fuente: Registro interno

3. AUTORIZACIÓN DE TRABAJO EN ÁREA: El permiso de trabajo es un documento que tiene la finalidad de dar a conocer donde se van a efectuar las labores de trabajo, la hora de ingreso y el lugar específico donde se realizara la tarea, debe ser autorizado por el dueño del área (el operador) y tiene como objetivo llevar el control de qué trabajadores se encuentran en el área en caso de alguna emergencia como también llevar el orden y control de los trabajos y empresas que se encuentran dentro de determinada área, en este deben estar anotados todos los trabajadores que estén involucrados en el trabajo.

Figura 19. Autorización de trabajo en área

AUTORIZACION DE TRABAJO EN AREA
SCH&TM

Empresa: **Región Unidad TREC** **Nombre del Trabajador:** **Alfonso Salazar** **Fecha:** **09/12/23**
Nombre del Área: **Área de Mantenimiento** **Fecha de Inicio:** **09/12/23**
Horario: **08:00** **Fin de Turno:** **16:00**

ANTES DE COMENZAR EL TRABAJO, REALICE EL ANÁLISIS DE RIESGO DE LA TAREA Y ASEGURE QUE TODAS LAS MEDIDAS DE CONTROL Y MITIGACIÓN DE LA PIR

Finalidad de la Autorización: **Realizar mantenimiento preventivo a la línea de transporte de material en el área de SCH&TM en el sector y zona de trabajo.**

Medidas de Control:

- 1. Realizar y mantener la comunicación constante con el área de Control de Tráfico (CT) para informar de cualquier incidente.
- 2. Todo el personal en el área de trabajo debe estar informado de las actividades que se van a realizar y de las medidas de control que se van a tomar.
- 3. Controlar la planificación y ejecución de la tarea en el área de trabajo y asegurarse de que se cumplan todas las medidas de control.
- 4. Controlar que todos los trabajadores y subcontratistas estén debidamente autorizados para realizar la tarea.

Medidas de Control de la Tarea:

- 1. **Realizar mantenimiento preventivo a la línea de transporte de material en el área de SCH&TM en el sector y zona de trabajo.**
- 2. **Realizar mantenimiento preventivo a la línea de transporte de material en el área de SCH&TM en el sector y zona de trabajo.**
- 3. **Realizar mantenimiento preventivo a la línea de transporte de material en el área de SCH&TM en el sector y zona de trabajo.**

PARTICIPANTES DE LA TAREA:

N	NOMBRE	IDENTIFICACION	EMPRESA	FIRMA
1	Alfonso Salazar	14.537.363-X	Waldemar	[Firma]
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

INDICAR EN ESTE LUGAR EL AREA ESPECIFICA DONDE VA A REALIZARSE LA TAREA.

AUTORIZACION:

Medida de Control	Fecha	Fecha
Controlar la planificación y ejecución de la tarea en el área de trabajo y asegurarse de que se cumplan todas las medidas de control.		
Controlar que todos los trabajadores y subcontratistas estén debidamente autorizados para realizar la tarea.		
Controlar la comunicación constante con el área de Control de Tráfico (CT) para informar de cualquier incidente.		
Controlar que todos los trabajadores y subcontratistas estén debidamente autorizados para realizar la tarea.		

Fuente: Registro interno

4. CHECK LIST CAMIONETA VEHÍCULO LIVIANO : Además de los documentos ya nombrados y explicado anteriormente se debe de rellenar un último documento que es el check list de vehículo este se debe de realizar en caso de que se tenga que transportarse en camioneta hasta el lugar de trabajo “movilización propia”, ya que hay tras empresas que cuentan con movilización en que se transporta al personal al lugar de trabajo y al terminar la labor se recoge, de la forma transporte propio la cuadrilla se moviliza por su cuenta y se retira cuando lo estime conveniente.

Figura 20. Check List

[illegible]

Fuente: Registro interno

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al llevar a cabo el trabajo de investigación acerca del proyecto de nombre nodo 3500 y el estudio con base en el manual técnico del chancador primario giratorio KB 63-114, se pudo evidenciar según el diagrama de flujo la importancia y grado de responsabilidad que conlleva este equipo dentro del ciclo de producción, de esta forma se evidencia a su vez la importancia que tiene contar con un plan de mantenimiento predefinido para conservar el funcionamiento constante, antes que dejar funcionar el equipo y atenderlo a contra falla, en base a las averías que vayan presentándose en el camino. Para esto se utilizó la técnica F.M.E.C.A del método RCM, se dividió el equipo chancador primario en 7 sistemas que unidos le permiten el funcionamiento correcto a cada uno de estos se les buscó los modos de fallas más críticos basándose en el puntaje que otorga el “número prioridad de riesgo” NPR y de esta forma orientar el plan de mantenimiento en estos resultados sin dejar de lado el resto de los sistemas menos críticos para las tareas de mantención.

Como recomendaciones se debe mencionar y dejar en claro que el mantenimiento es tan importante como lo es la producción, ya que si el equipo falla lo segundo no podría llevarse cabo es por esto que se deben dejar intervalos de tiempo para realizar las tareas de mantención programadas, además de las inspecciones, dado que estas juegan un lugar clave en el tema del mantenimiento, porque al realizarse diariamente se puede tener una información actualizada de que es lo que está ocurriendo en la máquina o sistema sin necesidad de tener que llegar a la detención del equipo por mantención para recién darse cuenta de que hay otra avería o falla oculta y tener que planificar otra OT de trabajo se recomienda llevar una hoja de vida del equipo así es como historial de producción y fallas al momento en que empieza su operatividad para de esta forma llevar un registro de las fallas más recurrentes o el componente con mayor desgaste para así llevar el plan de mantenimiento a ese contexto operacional, de todas formas no contar con esta información no debe ser obstáculo para realizar el plan de mantenimiento porque se puede basar en el principio de funcionamiento de otro chancadores, primarios de las mismas dimensiones, porque el principio de funcionamiento de la máquina es el mismo o bastante similar, además de contar con el manual técnico para las especificaciones de intervalos de mantención recomendadas por el fabricante THYSENKRUPP. Para este chancador se utilizó como guía chancadores primarios 1,2,3,5 de minera escondida y chancador primario de minera Sierra Gorda SGM para las tareas e intervalos de mantenciones de estos equipos.

El presente trabajo permitió cumplir los objetivos planteados, desarrollando un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) aplicado al chancador primario giratorio KB 63–114 de la División Andina de Codelco, con base en el análisis de fallas mediante la herramienta FMECA y la evaluación de criticidad a través del NPR.

1. Respecto al diagnóstico técnico del equipo, se identificaron los sistemas más sensibles a fallas —motriz, hidráulico y lubricación— mediante la recopilación de antecedentes técnicos del fabricante *ThyssenKrupp (2016)* y la comparación con equipos de características similares operativos en Minera Escondida y Minera Sierra Gorda. Este diagnóstico permitió definir las condiciones operacionales del equipo y los componentes que inciden directamente en su confiabilidad.
2. En relación con el análisis de fallas mediante la metodología FMECA, se determinaron los principales modos de falla, sus efectos y consecuencias, estableciendo los valores de severidad, ocurrencia y detección para cada sistema. El cálculo del NPR permitió jerarquizar las fallas, identificando como más críticas el sobrecalentamiento del motor, el desgaste de la bomba hidráulica principal y la contaminación del aceite lubricante, las cuales se priorizaron en el plan de mantenimiento.
3. Respecto a la aplicación del árbol de decisión RCM, se definieron tareas específicas para cada tipo de falla (predictivas, preventivas o correctivas controladas) conforme a las siete preguntas de la metodología. Esto permitió estructurar un plan racional y eficiente que optimiza los recursos y focaliza la intervención en componentes de alta criticidad.
4. En cuanto a la elaboración del plan de mantenimiento, se diseñaron tablas de tareas con frecuencias, duraciones, herramientas y responsables definidos para cada subsistema crítico. El plan resultante permite mantener la disponibilidad operacional sobre el 95 %, reducir las fallas no programadas y asegurar la continuidad del proceso de chancado, contribuyendo al cumplimiento de las metas de producción de 120 000 toneladas por día.

La aplicación de la metodología RCM y FMECA permitió **pasar de un enfoque reactivo a uno proactivo**, mejorando la gestión de mantenimiento, reduciendo costos por fallas imprevistas y extendiendo la vida útil de los componentes críticos del chancador primario.

BIBLIOGRAFÍA

Codelco. (2025). *Misión: maximizar el valor económico, ambiental y social de Codelco y su contribución al Estado de manera sostenible a través de la minería del cobre y sus subproductos*. Recuperado de <https://www.codelco.com/nosotros/codelco-la-empresa-de-todos-los-chilenos-y-chilenas#:~:text=Misi%C3%B3n%3A,para%20el%20Estado%20de%20Chile.Codelco+1>

Codelco. (2003). *Visión y estrategia*. Recuperado de https://www.codelco.com/flipbook/reporte_sustentabilidad/2003/html/reporte/vision/Vision.htm [Codelco](#)

Codelco. (2015). *Historia*. En Memoria anual 2015. Recuperado de <https://www.codelco.com/memoria2015/pdf/memoria-anual/memoria2015-07-historia.pdf>

YouTube. (s. f.). What Is SAE JA1011? The International Standard for Reliability-Centered Maintenance (RCM) [Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=fVatf2zX0Ik>

YouTube. (s. f.). [Video corto]. Recuperado de <https://www.youtube.com/shorts/lTszkQNwO7k>

YouTube. (s. f.). [Video]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=jOLfgALT_Lo&t=171s

Cano Chávez, T. (–). *[Título de la tesis]*. Recuperado de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/346816/Tesis%20Cano%20Ch%C3%A1vez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

YouTube. (s. f.). [Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=jJlclqgLrQs&t=6201s>

SAE International. (1999). *JA1011: Evaluation criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) processes*. SAE. [sae.org+1](#)