

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

**APLICACIÓN DE MCC PARA OPTIMIZAR EL PLAN DE MANTENIMIENTO
DE LOS MOLINOS BARRAS DE DIVISIÓN ANDINA.**

**Trabajo de Titulación para optar al
Título de Ingeniero/a en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.**

Alumno:

Sandrino Javier Canepa Valencia

Profesor Guía:

Mg. Ing. Carlos Parra Marquez



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
APLICACIÓN MCC PARA OPTIMIZAR EL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS MOLINOS
Título del trabajo: BARRAS DE DIVISION ANDINA

Nombre del candidato(a): SANDRINO JAVIER CANEPA VALENCIA

Carrera / Grado: INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Campus: VIÑA DEL MAR Departamento: MECANICA

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, CARLOS PARRA MARQUEZ, 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

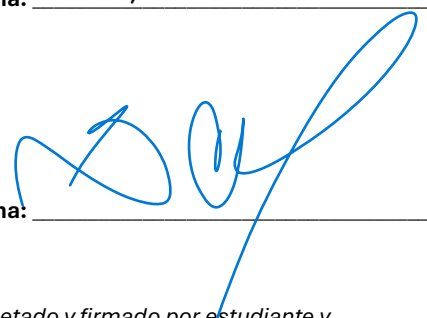
Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

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

Fecha: 13/11/2025 Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 07/11/2025 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.

Hoy, en medio de este camino de esfuerzo, trabajo y crecimiento, no puedo dejar de mirar hacia atrás y reconocer con el corazón lleno de gratitud todo lo que mi familia ha hecho por mí. Gracias a mis padres y a Catina, mi compañera incondicional, por sostener a nuestra familia en los días que estaba trabajando o estudiando, por creer en mí, y por darme el espacio para seguir creciendo como profesional, pero, sobre todo, como persona.

Gracias a mis hijas Amara y Alma, que con su amor puro y sus sonrisas transparentes me recuerdan cada día por qué vale la pena luchar. Su paciencia, cariño y su forma de mirarme con orgullo son la mayor motivación que tengo, ya vendrán más días de Amor, juegos, aventuras y alegrías.

Este proceso de vida, con sus aprendizajes, sacrificios y logros, no sería posible sin ustedes. Me han enseñado que no hay éxito que valga si no se comparte en familia.

Gracias por dejarme ser, por acompañarme y por hacerme mejor. Este camino también es de ustedes.

RESUMEN

KEYWORDS: APLICACIÓN DE RCM PARA MEJORAR LOS PLANES DE MANTENIMIENTO DE LA MOLINERA CONVENCIONAL (MOLINOS BARRAS)

El presente Trabajo de Título consiste en mejorar los planes de mantenimiento de la planta convencional, en división andina, mediante nuevas estrategias de mantenimiento y reingeniería de componentes que permitan aumentar la confiabilidad intrínseca del sistema y su conservación en el tiempo. Se ha elegido la molienda convencional debido a su comportamiento crónico y agudo y de baja confiabilidad en los molinos barras. Adicionalmente, este sistema presenta un alto impacto económico y el mantenimiento que se puede desarrollar permite minimizar las detenciones por falla con un resultado de alto impacto en la confiabilidad global de sus equipos y subsistemas.

División Andina en busca de la excelencia operacional de sus plantas Implementa un sistema de gestión de mantenimiento que busca generar un cambio en la estrategia de mantenimiento de las plantas y esto se conecta con la implementación de buenas prácticas como es la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad. Hoy la industria de la minería necesita optimizar sus procesos por la gran demanda de cobre que se nos avecina hacia el 2040, donde seremos el principal activo de nuestro país en términos de economía.

ÍNDICE

RESUMEN

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

GLOSARIO

INTRODUCCIÓN.....1

OBJETIVOS 3

 OBJETIVO GENERAL 3

 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3

ALCANCES Y LIMITACIONES 5

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES.....6

1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA 7

 1.1. CORPORACIÓN DEL COBRE, CODELCO ANDINA 7

 1.1.1. Codelco división Andina 8

 1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO Y SUS ACTIVOS..8

 1.2.1. Obtención del concentrado de cobre 9

 1.3. PROCESO DE CONCENTRADO DEL MINERAL 10

 1.3.1. Planta Concentradora Andina. 11

 1.3.2. Etapas de Chancado 11

 1.3.3. Etapa de Molienda 12

 1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO Y SUS LÍMITES
TÉCNICOS DE LA MOLIENDA CONVENCIONAL 14

 1.5. ESTÁNDARES OPERACIONALES DE LA MOLIENDA
CONVENCIONAL.....15

 1.6. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y SUS LÍMITES TÉCNICOS DE LOS
EQUIPOS 15

 1.6.1. Diagrama de Proceso Molienda Convencional 16

 1.6.2. Listado de equipos de criticidad Alta.....17

 1.6.3. Descripción general 17

 1.6.4. Especificaciones de los Componentes Principales 18

 1.7. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....23

 1.8. METODOLOGÍA DE TRABAJO 24

**CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL
MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD 25**

2. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL	
MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD	26
2.1. ANTECEDENTES DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN	
CONFIABILIDAD	26
2.1.1. Resultados y desafíos	27
2.1.2. Sistema Operativo de Mantenimiento (SOMA) y MCC	28
2.1.3. Aplicación del MCC en la Operación.....	29
2.1.4. Resultados Esperados y Alineación Estratégica entre el MCC y	
SOMA	29
2.1.5. Proceso de Implementación del RCM.....	30
2.2. ASPECTOS TEÓRICOS DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN	
CONFIABILIDAD	30
2.3. PROCESOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO	
CENTRADO EN CONFIABILIDAD.....	32
2.3.1. Formación del equipo natural de trabajo.....	32
2.3.2. Selección del sistema y definición del contexto operacional	34
2.3.3. Análisis de criticidad aplicado al proceso de mantenimiento	
centrado en confiabilidad	34
2.3.4. Análisis del Contexto Operacional en RCM.....	39
2.4. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y	
CRITICIDAD DE FALLAS.....	42
2.4.1. FMECA. Definición de funciones y estándares de ejecución	42
2.4.2. FMECA. Definición de fallos funcionales	42
2.4.3. FMECA. Definición de Modos de Fallos.....	43
2.4.4. FMECA. Definición de los efectos y Consecuencias de los Modos de	
fallos	43
2.5. PROCESO DE SELECCIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE	
MANTENIMIENTO (ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN DEL MANTENIMIENTO	
CENTRADO EN CONFIABILIDAD)	44
2.6. POLÍTICA Y ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO APROPIADA	
PARA CADA EQUIPO/COMPONENTE DE ACUERDO CON EL CICLO DE	
MANTENIMIENTO DE CODELCO ANDINA.	45
2.6.1. Estrategia de mantenimiento	46
2.6.2. Planear e implementar acciones de mitigación	48
2.6.3. Indicadores de mantenimiento a evaluar	49

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD EN EL MOLINO BARRAS #1 DE LA MOLIENDA CONVENCIONAL	51
3. APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD Y RE-DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL.	52
3.1. FORMACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO.....	52
3.2. SELECCIÓN Y DEFINICIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL	53
3.2.1. <i>Propósito de molino barras</i>	53
3.2.2. <i>Descripción general del Sistema</i>	53
3.2.3. <i>Descripción específica del proceso</i>	54
3.2.4. <i>Equipos principales</i>	54
3.2.5. <i>Diagrama entrada - proceso - salida</i>	55
3.2.6. <i>Diagrama de proceso y estándares operacionales.</i>	56
3.3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD APLICADA A LOS EQUIPOS DEL MOLINO BARRAS.....	58
3.4. ANÁLISIS DE LOS MODOS Y EFECTOS DE FALLOS (FMECA) APLICADA A LOS EQUIPOS CRITICOS DEL MOLINO BARRAS.....	63
3.5. PLAN DE MANTENIMIENTO GENERAL APLICADA A LOS EQUIPOS CRITICOS DEL MOLINO BARRAS.....	77
3.6. ANALISIS DEL AHORRO POTENCIAL CON LA IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.	91
3.7. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ANUAL DEL MOLINO BARRAS BAJO EL PLAN DE PRODUCCION DE CODELCO ANDINA.....	108
3.8. RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS Y MEJORAS DEL PLAN PROPUESTO.	115
3.8.1. <i>Parámetros evaluados del plan de mantenimiento y FMECA.</i>	115
3.8.2. <i>Costos de implementación plan de mantenimiento</i>	116
3.8.3. <i>Cumplimiento de objetivos</i>	118
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN	121
ANEXOS	122
ANEXO 1: PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL 2024	123
ANEXO 2: RESUMEN DETENCIONES MOLIENDA CONVENCIONAL 2025.....	124

ANEXO 3: RESULTADOS DE DISPONIBILIDAD 2022V/S 2023 125

ANEXO 4: PARETO DE FALLAS MOLIENDA CONVENCIONAL 2024. 126

ANEXO 5: CUMPLIMIENTO DEL PROGRAMA SEMANAL MOLIENDA
CONVENCIONAL 2023 127

ANEXO 6: INFORME CUMPLIMIENTO DEL TRABAJO PLANIFICADO
MOLIENDA CONVENCIONAL 2023 128

ANEXO 7: INFORME DE CONFIABILIDAD 2024 129

ANEXO 8: INFORME DE CUMPLIMIENTO KPI MOLIENDA
CONVENCIOAL 2024..... 130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Etapas del proceso de División Andina	10
Figura 1-2 Molinos barras: MARCY 11,5' x 16'	18
Figura 1-3 Molinos bolas: MARCY 12,5' X 16'	19
Figura 1-4 Bombas Centrifugas: ASH 14X12 WARMAN	20
Figura 1-5 Baterías de hidro ciclones: CAVEX 400 VULCO	20
Figura 1-6 Sistema de transporte de mineral: 36" X 16m EP 330 3 telas	21
Figura 1-7 Sistema de Lubricación	22
Figura 2-1 Equipo Natura de trabajo	33

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1-1 Planta Concentradora división andina.....	11
Diagrama 1-2 Molienda Convencional	14
Diagrama 1-3 Procesos Molienda Convencional	16
Diagrama 1-4 Metodología del MCC	24
Diagrama 2-1 Modelo de procesos de gestión del mantenimiento (Crespo, 2007).	28
Diagrama 2-2 Flujograma de Implementación del RCM.....	30
Diagrama 2-3 Entrada proceso salida	41
Diagrama 2-4 Lógica de la selección de estrategias de Mantenimiento: enfoque RCM .	45
Diagrama 2-5 Estrategia de Mantenimiento	47
Diagrama 3-1 Diagrama de entrada y Salida.	55
Diagrama 3-2 Diagrama de entrada y Salida	55
Diagrama 3-3 Diagrama de proceso.....	57

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 2-1 Curva P-f	46
Gráfico 3-1 Análisis de criticidad	61

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1 Criticidad 36

Ecuación 2-2 Costo de indisponibilidad 49

Ecuación 2-3 Disponibilidad de equipo 50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Estándares operacionales Molienda Convencional..... 15

Tabla 1-2 Limites técnicos molienda convencional 17

Tabla 1-3 Correas Transportadoras 22

Tabla 1-4 Resultados 2023 de disponibilidad y Programa Semanal 23

Tabla 1-5 Resultados 2024 de disponibilidad y programa Semanal 23

Tabla 2-1 Consecuencia de la falla.....37

Tabla 2-2 Evaluación de consecuencia 37

Tabla 2-3 Frecuencia de ocurrencia de falla 38

Tabla 2-4 Evaluación de consecuencia 38

Tabla 2-5 Matriz de Criticidad 39

Tabla 2-6 Definición de la estrategia de mantenimiento.....48

Tabla 3-1 Definición del equipo natural.....52

Tabla 3-2 Estándar de Operación 56

Tabla 3-3 Análisis de criticidad.....58

Tabla 3-4 Resumen Análisis de criticidad 61

Tabla 3-5 Equipos críticos del Análisis de criticidad 62

Tabla 3-6 FMECA.....64

Tabla 3-7 Plan de Mantenimiento desarrollado a partir del RCM en el molino Barras ...77

Tabla 3-8 Indicador de ahorro potencial utilizando RCM 91

Tabla 3-9: Plan de Mantenimiento Anual Molienda Convencional 108

Tabla 3-10 Parámetros evaluados y eventos identificados..... 115

Tabla 3-11 Actividades de mantenimiento, tiempo efectivo y costos de plan anual 116

Tabla 3-12 Resultados obtenidos 117

Tabla 3-13 Costos totales de implementación y ahorro potencial..... 117

Tabla 3-14 Producción de Cobre fino vs Disponibilidad teórica 118

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS

CLP	:	Pesos Chilenos
DAND	:	División Andina
FMECA	:	Failure Modes and Effects Analysis)
MTTO	:	Mantenimiento
RCM	:	Reliability Centered Maintenance
MCC	:	Mantenimiento centrado en Confiabilidad
SAP	:	Desarrollo de programas para sistemas de análisis
SOMA	:	Sistema operativo de mantenimiento
USD	:	Dólares americanos

SIMBOLOGÍA

Cu	:	Cobre
Fe	:	Fierro
S	:	Azufre
D	:	Disponibilidad
Gpm	:	Galones por minuto
gr/cc	:	gramos por centímetro cúbico
H	:	Hora
kg	:	kilógramos.
L	:	Litros
min	:	Minutos
mm/seg	:	Milímetros por segundo
PSI	:	Libras por pulgada cuadrada/Pounds per Square Inch.
t	:	toneladas
TMH	:	Tonelada Métrica Húmeda
TMS	:	Tonelada métrica seca
ktpd	:	Kilo toneladas por día
Ø	:	Diámetro

GLOSARIO

ACR	:	Análisis causa raíz
CIF	:	Costo de indisponibilidad por falla
ERP SAP	:	Software de planificación de recursos empresariales.
FMECA	:	Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (siglas en ingles).
MCC	:	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
RCM	:	Reliability Centered Maintenance
MTBF	:	Tiempo medio entre fallas (por sus siglas en ingles).
MTTF	:	Tiempo medio de reparación (por sus siglas en inglés).
RDP	:	Resolución de problema
SAP PM	:	Modulo de mantenimiento de planta del software SAP.
SOMA	:	Sistema operativo de mantenimiento
TPPR	:	Tiempo promedio para reparar

INTRODUCCIÓN

Como contrapartida a las nuevas exigencias que se imponen en la industria minera, el mundo en 2024 nos siguió dando fuertes evidencias del crecimiento de la demanda de cobre. Diversos estudios de las consultoras más importantes del mundo prevén que ésta se activará de modo acelerado. Wood Mackenzie proyecta un aumento de la demanda a 2040 de 67% bajo un escenario optimista de electrificación, pasando de 22 millones de toneladas actuales de consumo a casi 40 millones de toneladas. La razón es tan simple como compleja, la modernización de la infraestructura del mundo desarrollado es una exigencia mayor.

Para Codelco esto no ha sido indiferente por lo que a comienzos del 2021 el presidente ejecutivo anuncia un plan de transformación de costos de unos USD 1.000 millones de excedentes para el país.

Este plan se centra en dos aspectos, el primero en el aumento de la producción y el segundo en la elevación de la eficiencia proveniente de la optimización de consumos, racionalización de contratos, disminución de consultorías, mejoramiento de la gestión de los activos y mantenimiento.

Anticipándose a estos sucesos, el sistema de gestión de mantenimiento en la división andina de Codelco, viene fortaleciendo la gestión de los activos y mantenimiento mediante la ingeniería de confiabilidad, la que permite por medio del análisis de comportamiento histórico de los componentes de los sistemas, realizar una proyección de base probabilística, de manera de identificar las oportunidades de mejoras que se puedan manifestar en los plan de mantenimiento de los componentes y equipos para darle razón al escenario que el país y el mundo nos prepara.

Como se mencionó anteriormente, el aumento productivo va de la mano con la gestión de activos, y para nosotros como ingenieros es nuestro pilar fundamental para optimizar la confiabilidad y mantenibilidad de un componente, sistema o equipo. Por esta razón surge esta memoria, cuyos objetivos se presentan más adelante.

Este modelo de mantenimiento es el resultado de un conjunto de procesos relacionados entre sí, por lo tanto, la calidad del resultado (medida en términos de costo, seguridad, medio ambiente, efectividad operacional y producción) depende de todos los procesos que lo producen. Las deficiencias o fallas en cualquiera de ellos afectarán en el resultado final del trabajo, por lo tanto, un proceso determinará una secuencia de actividades que se realizan en forma sistemáticas y disciplinadas con el fin de lograr un resultado, donde todas las fases del ciclo de mantenimiento son dependientes de otra y forman parte de un flujo relacionado entre sí, por un vínculo de actividades predecesoras

relacionadas. Estos mismos postulados son los que motivan el desarrollo de una metodología que permita el aumento de nuestros indicadores de mantenimiento, que considera como definición base para el conjunto de actividades coordinadas que la organización utilizará para obtener valor a través de sus activos a lo largo de su ciclo de vida, definiendo para ello un conjunto de estándares y proceso que apunten a la gestión de sus activos con lo que se espera generar valor a Codelco, asegurando el cumplimiento de estrategias de mantenimiento que optimicen su rendimiento y sustentabilidad a las etapas del ciclo de mantenimiento.

OBJETIVOS

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

OBJETIVO GENERAL

Aplicar el método de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) para optimizar los planes de mantenimiento de los equipos en molienda convencional en Codelco División Andina, con el fin de fortalecer y mejorar los planes de mantenimiento de la concentradora, en concordancia con la política de mantenimiento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Con la realización del objetivo principal de esta memoria, se podrán desarrollar los siguientes objetivos específicos:

- Diagnosticar la situación actual de mantenimiento y operación de los sistemas y equipos de la molienda convencional en división Andina y explicar la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad.
- Aplicar la metodología MCC para ser aplicado en un sistema crítico de la molienda Convencional utilizando como referencia el análisis de modo y efecto de falla con el fin de evaluar los modos de falla, sus efectos y consecuencias sobre la seguridad, el medio ambiente y la producción.
- Diseñar la estrategia optimizada de mantenimiento para los activos críticos, incluyendo un conjunto de indicadores claves para el desempeño técnico y económico, basándose en los resultados del análisis MCC, con el propósito de mejorar la confiabilidad operacional y la disponibilidad de los equipos.

Se toma como base de datos el registro de fallas entregado por el sistema de gestión SEP, el cual, por condiciones de implementación, abarca desde el 1 de septiembre del 2019 hasta la fecha.

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

Con el fin de conseguir información se acude a los sistemas de gestión de fallas de la organización, además de los comentarios y sugerencias de las personas que pertenecen a la superintendencia de ejecución de mantenimiento.

ALCANCES Y LIMITACIONES

A continuación, se definen los alcances y limitaciones de este trabajo:

- Mejoramiento en la gestión del mantenimiento de la molienda convencional.
- Los objetivos específicos se limitan al estudio de las detenciones por falla, descartándose el estudio de otros tipos de detenciones y utilizando las fuentes de información de las averías en los equipos durante el periodo de análisis.
- Se descarta cualquier análisis que no se encuentre descrito entre los objetivos, tales como análisis de gestión de repuestos, inspecciones, selección de nuevos equipos, diseño de nuevos equipos, etc...

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES

1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Codelco es la Corporación Nacional del Cobre de Chile, una empresa estatal que se dedica a la explotación minera. Es la principal productora de cobre del mundo y posee las mayores reservas de este mineral a nivel global en Chile, de ahí viene Codelco Andina, que es una división de la Corporación que opera en la zona de Valparaíso. Se dedica a la explotación de minerales en las minas subterránea de Río Blanco y a rajo abierto Sur Sur.

1.1. CORPORACIÓN DEL COBRE, CODELCO ANDINA

La historia de Codelco comienza con la promulgación de la reforma constitucional que nacionalizó el cobre el 11 de julio de 1971. La creación de la Corporación Nacional del Cobre de Chile como se la conoce en la actualidad fue formalizada por decreto el 1 de abril de 1976.

La situación cambió a comienzos del siglo XX cuando grandes consorcios internacionales comenzaron a poner la vista en los yacimientos chilenos, dotados de avances tecnológicos que permitirían la recuperación de cobre aun cuando estuviera presente en bajas concentraciones.

La "chilenización del cobre", iniciada en 1966, partió con la aprobación por parte del Congreso de la ley 16.425 que determinaba la creación de sociedades mixtas con las empresas extranjeras en las cuales el Estado tendría 51 por ciento de la propiedad de los yacimientos.

Este proceso determinó en esa época la transformación del Departamento del Cobre en una Corporación del Cobre. El Estado asumió un papel decisivo en la producción y comercialización del cobre.

La participación de 51% del Estado se concretó en los yacimientos más importantes y emblemáticos: Chuquicamata, El Teniente y Salvador, que como resultado de este proceso recibieron inversiones de importancia. Entre los objetivos de la chilenización también se buscaba refinar todo el cobre dentro de este país y aumentar la producción hasta un millón de toneladas.

Los bienes y las instalaciones de estas empresas pasaron a ser propiedad del Estado de Chile, que creó sociedades colectivas para hacerse cargo de las operaciones, coordinadas por la Corporación del Cobre de aquel entonces.

Como resultado de estas atribuciones fueron dictados los decretos ley 1.349 y 1.350 publicados en 1 de abril de 1976, que formalizaron la creación de una empresa minera, la Corporación Nacional del Cobre de Chile, Codelco.

Codelco Chile fue constituida como una empresa del Estado que agrupaba los yacimientos existentes en una sola Corporación, minera, industrial y comercial, con personalidad jurídica y patrimonio propio, domiciliada en el departamento de Santiago.

1.1.1. Codelco división Andina

El año 1955 la Compañía Cerro Corporación inició trabajos formales de reconocimiento y diseño, que culminaron en 1966 con la creación de la Compañía Minera Andina, donde el Estado poseía el 30% de la propiedad. A partir de entonces se desarrolló un proyecto de explotación subterránea con instalaciones de chancado y concentración, que se puso en marcha en 1970. En 1976 la Compañía Minera Andina se integra a Codelco con el nombre de División Andina. Andina se ubica a 80km al noreste de Santiago de Chile, entre 3.700 y 4.200m.s.n.m., a pocos kilómetros de la ciudad de Los Andes. Hoy en día Andina realiza la explotación de minerales en la mina Río Blanco y o Sur-Sur, produciendo unas 240.000Ton de concentrado de cobre y poco más de 2.900Ton de molibdeno al año.

1.2. **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO Y SUS ACTIVOS**

Actualmente la Planta Concentradora de División Andina tiene un programa de producción de 82,5ktpd para el año 2024, siendo alimentada con mineral de ley Cu promedio ponderada de 0.65% desde dos líneas principales; la mina Rajo Abierto y la Mina Subterránea.

A partir de la Mina Rajo se alimenta un 60% del material, que se procesa a través de la línea SAG, esta línea consta de un chancado primario y un pre-chancado que alimenta a un molino SAG junto con sus dos molinos de bolas. En forma paralela al pre-chancado existe un chancado secundario y terciario que alimenta al Molino Unitario II. La Mina Subterránea por su parte alimenta el restante 40% del mineral al chancado convencional el cual consiste en chancado primario, secundario, terciario y cuaternario, el que entrega un material a la etapa de molienda convencional que se realiza a través de 3 molinos de barras y 10 molinos de bolas, además de un molino particular llamado Molino Unitario I. El producto de ambas líneas de molienda es alimentado a la etapa concentración

llevada a cabo a través de 6 líneas de flotación rougher, 2 líneas de flotación scavenger, 2 circuitos de remolienda con sus respectivos molinos verticales y 6 celdas de flotación columnar.

Para el espesado del concentrado se tienen 2 espesadores, de los cuales opera uno y otro se encuentra en stand-by, una vez espesado es transportado hacia la etapa de concentración selectiva realizada en la planta ubicada en Saladillo, mientras que el relave es espesado mediante 3 espesadores y transportado mediante canaleta al tranque ubicado en Huechún.

1.2.1. Obtención del concentrado de cobre

La obtención del mineral de cobre se realiza en dos procesos: extracción y concentrado.

1.2.1.1. Proceso de extracción del mineral

El proceso de extracción del mineral se realiza en tres minas: Sur-Sur, La Unión (a rajo abierto) y Río Blanco (subterránea).

1.2.1.2. Mina Sur-Sur

Se sitúa en el naciente del valle Río Blanco, alrededor de los 4.200m.s.n.m y 2km al sur de la mina subterránea Río Blanco. Ésta mina es explotada a cielo abierto, mediante el método de extracción por bancos, que incluye los procesos de perforación, tronadura, carguío y transporte. Actualmente, esta mina aporta un 58% de la extracción de mineral en la División.

El transporte del mineral a cielo abierto se efectúa con cargadores frontales, palas hidráulicas y camiones. El mineral es así llevado hasta la mina subterránea por gravedad a través de piques de traspaso.

1.2.1.3. Mina La Unión

Este rajo incorporado a la producción en 1998 y ubicado a 3.200m.s.n.m. Es el sector más importante dentro de un conjunto de pequeños cuerpos mineros que se encuentran entre la mina subterránea y el rajo Sur-Sur. Su explotación se diseñó inicialmente como un cuerpo de alta ley y, posteriormente, su atractivo se incrementó debido al reducido transporte de mineral que implicaba.

1.2.1.4. Mina Río Blanco

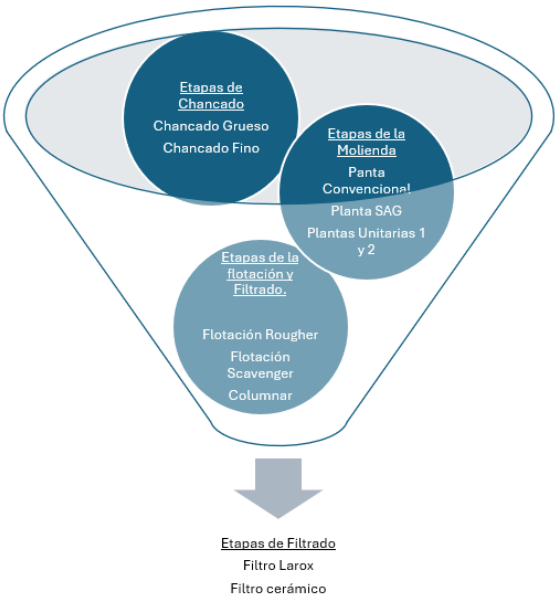
La explotación de la mina subterránea Río Blanco se efectúa mediante el método de hundimiento de bloques o block caving con las variantes de extracción por parrillas y extracción mecanizada. El transporte de mineral a piques de traspaso se realiza por medio de correas. En el proceso también se utilizan cargadores y camiones de bajo perfil.

1.3. PROCESO DE CONCENTRADO DEL MINERAL

El mineral que se encuentra en el yacimiento de Río Blanco está compuesto en su mayoría por Calcopirita (Cu Fe S₂) en aproximadamente un 80%. Este mineral se encuentra muy disseminado en la roca, lo que es característico de los yacimientos porfíricos y su ley de explotación es en la actualidad de entre un 1,10-1,20 % de Cu y de 0,018-0,024 % de Mo.

La figura 1-1 muestra un diagrama esquemático del proceso del concentrado del mineral de cobre y molibdeno.

Los procesos de chancado, concentración y flotación del mineral se realizan en instalaciones subterráneas básicamente por las condiciones climáticas del lugar, y consta de las siguientes etapas:

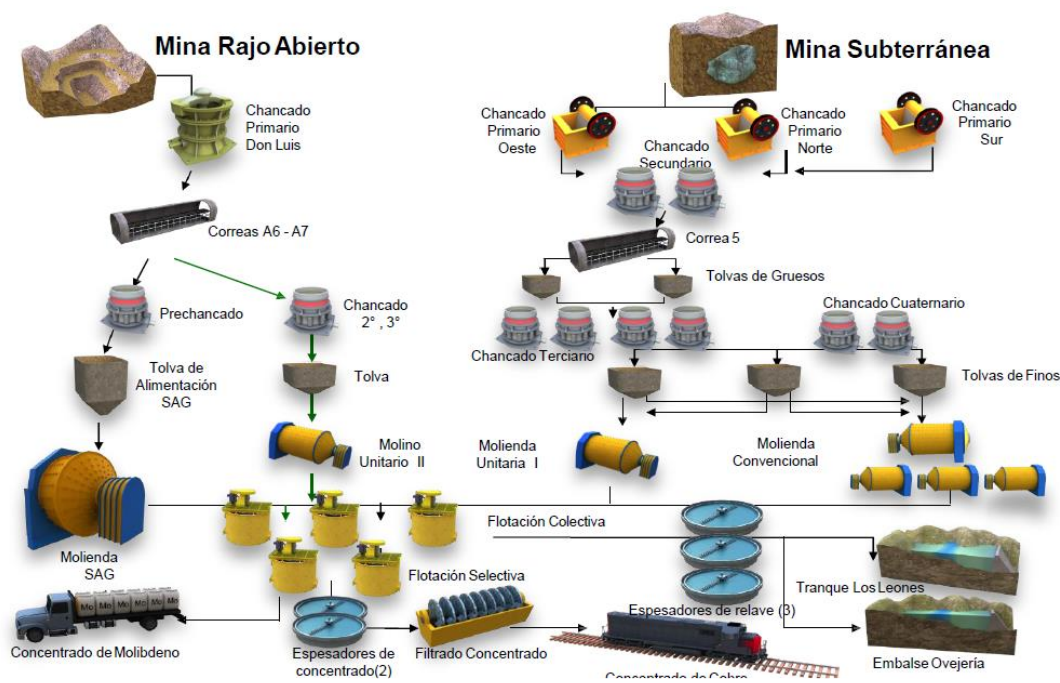


Fuente: Elaboración propia en Tabla de Excel en base a información analizada y entregada por la Codelco Andina.

Figura 1-1 Etapas del proceso de División Andina

1.3.1. Planta Concentradora Andina.

La planta concentradora de División Andina, ilustrada en el diagrama 1-1 es una de las instalaciones claves para el proceso productivo de Codelco Andina, encargada de transformar el mineral extraído en concentrado de cobre mediante su proceso de conminución, concentración y manejo de relave.



Fuente: “Estándares operacionales GPLA”

Diagrama 1-1 Planta Concentradora división andina

1.3.2. Etapas de Chancado

Las etapas de chancado se dividen en dos áreas, las cuales alimentan de mineral las plantas de molienda dividida en la línea convencional y línea SAG.

1.3.2.1. Chancado Grueso

La etapa de chancado grueso se realiza en tres plantas conocidas como Chancado Primario, Primario Sur y Primario Norte, donde el mineral llega a este lugar proveniente tanto del área subterránea como del rajo abierto. En este punto se efectúan las dos primeras etapas de la reducción de tamaño del mineral, siendo reducido

de tamaño entre Ø6 ½” o Ø7 ½” mediante el uso de chancadoras de mandíbula, en una fase primaria, y de cono en una fase secundaria, todas las líneas están conectadas por correas transportadoras con una capacidad de proceso alrededor de 35.000 toneladas por día.

1.3.2.2. Chancado Fino

La etapa de chancado fino se realiza en una planta llamada terciario, en donde el mineral grueso es almacenado en dos tolvas, las cuáles alimentan cuatro secciones similares de chancado terciario. Luego el material pasa por unos chancadores de cono que realizan el chancado cuaternario y se clasifica mediante harnero, donde el fino es depositado en las tolvas que alimentan la molienda húmeda, el sobre tamaño es chancado y clasificado nuevamente. En esta etapa se logra una granulometría del material menor de Ø½” a Ø1”.

1.3.3. Etapas de Molienda

La etapa de molienda se realiza en tres plantas:

1.3.3.1. Planta convencional

En esta planta el mineral es almacenado en las tolvas de fino las cuales alimentan a tres Molinos de Barras y cada uno de éstos deposita su pulpa con un 81% de sólido a tres Molinos de Bolas. El objetivo de este proceso es lograr una granulometría que permita la liberación de las partículas mineralizadas. La molienda que se desarrolla en los molinos de esta planta es húmeda. Luego la pulpa es clasificada para ser enviada a flotación colectiva y el sobre tamaño es devuelto a los Molinos de Bolas.

1.3.3.2. Planta unitaria

La planta unitaria, es equivalente a un Molino de Barras con sus tres Molinos de Bolas, que significa alrededor de 8.000 toneladas diarias. Esta planta está compuesta por un Molino de Bolas, el cual tiene su propia cubeta para descargar la pulpa, posteriormente el material es clasificado para ser enviado a flotación colectiva, el sobre tamaño es devuelto al Molino Unitario.

1.3.3.3. Planta SAG

La planta SAG, recibe el mineral del Chancado Primario Don Luís, por medio de tolvas de acopio y correas transportadoras. Esta planta está compuesta principalmente por un Molino SAG y dos Molinos de Bolas. En la descarga del molino SAG existe un harnero que clasifica el mineral destinándolo según su tamaño a una etapa de chancado o a los Molinos de Bolas, o directamente a flotación. La producción de esta planta es de alrededor de 64.000Ton diarias.

1.3.3.4. Etapa de flotación

En esta etapa la pulpa de mineral llega a una planta llamada de flotación colectiva, la cual está compuesta por 8 celdas de flotación de 3.800ft³ y por un proceso de remolienda. La idea es realizar flotaciones sucesivas, limpiezas, remolienda y barridos, a fin de separar el cobre y el molibdeno del resto del material, el mineral que tenía inicialmente una ley de 1% a 1,2% de Cu y de 0,026% a 0,028 % de Mo, queda en una ley promedio de un 28% de Cu y 0,48% de Mo. Para conseguir la separación del mineral es necesario agregar elementos que reaccionen con el mineral como cal, espumante y aceite de pino. El proceso es simple, ya que se procede a flotar las partículas de Cu junto con otras, mediante sopladores de aire que producen las burbujas que captan las partículas, éstas son enviadas a un espesador de concentrado y trasladado por medio de cañerías a la planta de filtro, el residuo de este proceso es enviado a la planta de tratamiento de aguas.

1.3.3.5. Etapa de Tratamiento de aguas

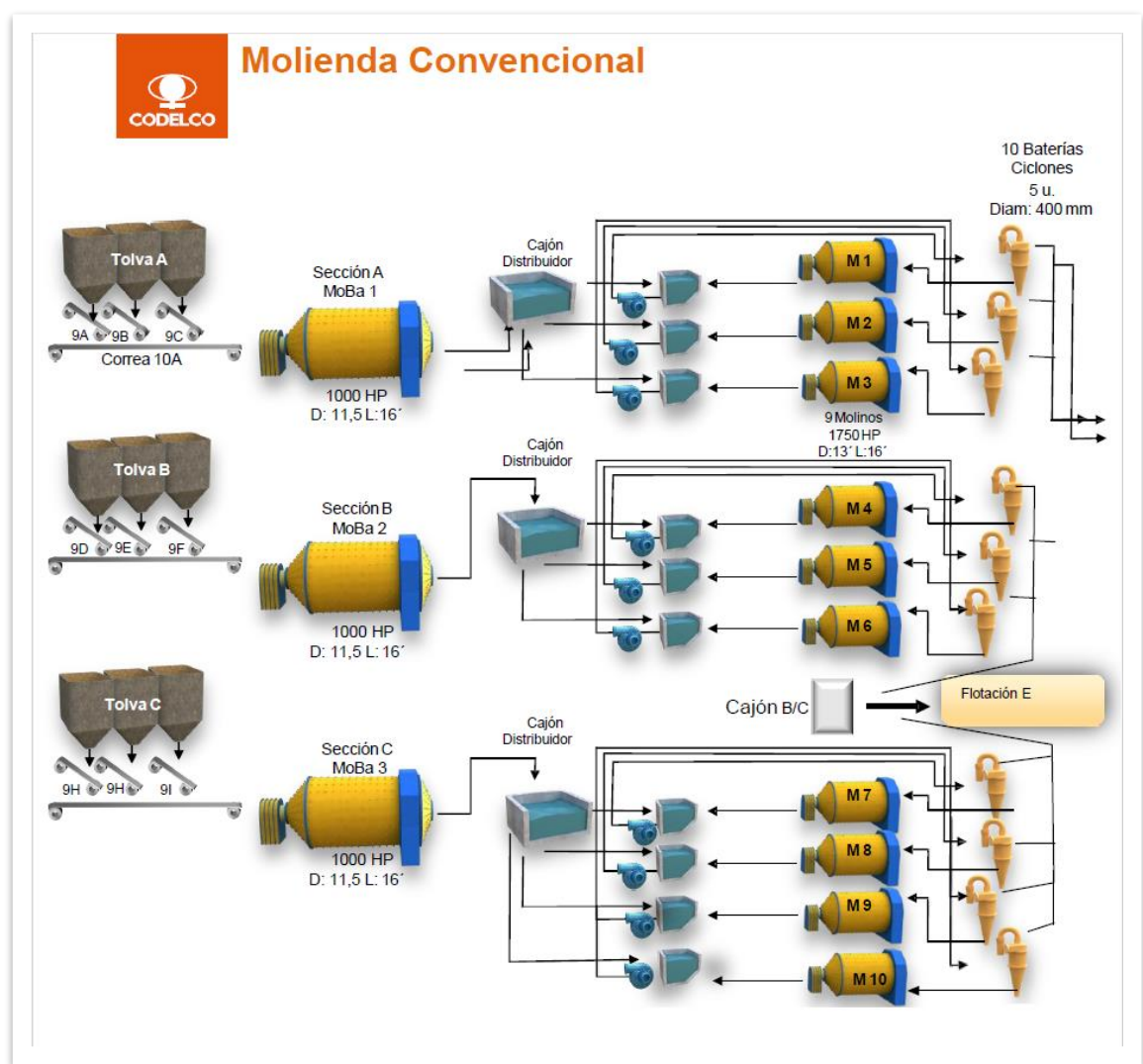
El residuo, que constituye un 96,5% del mineral tratado, es enviado a embalses de relaves (Leones, Ovejería) para realizar su decantación, luego del proceso de recuperación de agua en los espesadores de mineral. Estos depósitos tienen como finalidad, eliminar al máximo el material existente en el agua para así cumplir con su compromiso con el medio ambiente.

1.3.3.6. Etapa de Obtención de molibdeno

En esta etapa se obtiene el principal subproducto de la División Andina, para esto el cobre es separado del molibdeno, con la incorporación de Sulfhidrato de Sodio (NaHs), donde a través de sucesivas flotaciones, limpiezas y remoliendas se obtiene un producto con 50% de Mo y de 2% a 3% de Cu.

1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO Y SUS LÍMITES
TÉCNICOS DE LA MOLIENDA CONVENCIONAL

El mineral es almacenado en las tolvas de fino las cuales alimentan a tres Molinos de Barra y cada uno de éstos deposita su pulpa entre un 78% a 82% de sólido a tres Molinos de Bolas. El objetivo de este proceso es lograr una granulometría de 240 µm que permita la liberación de las partículas mineralizadas. Este proceso se explica en el diagrama 1-2, en la cual se muestra el flujo del mineral en la molienda convencional.



Fuente: “Estándares operacionales GPLA”

Diagrama 1-2 Molienda Convencional

1.5. ESTÁNDARES OPERACIONALES DE LA MOLIENDA CONVENCIONAL

La molienda que se desarrolla en los molinos de esta planta es húmeda, luego la pulpa es clasificada para ser enviada a flotación colectiva y el sobre tamaño es devuelto a los Molinos de Bolas para cumplir con el ciclo de la molienda. En la tabla 1-1, se detallan los estándares operacionales de la molienda convencional:

Tabla 1-1 Estándares operacionales Molienda Convencional

Estándares Operacionales Molienda Convencional							
MOBA #1;#2;#3	Potencia de trabajo	Nivel llenado Barras	% Sólidos MoBa				
	(kwh)	(%)	(%)				
	700 - 800	35	78-82%				
MOBOS	Rango Potencia de trabajo	Nivel llenado Bolas	Presión Baterías 1 al 6	Presión Baterías 7 al 10	%Sólidos Rebalse Bateria Cy	Granulometría producto (%+65#)	Potencia en Vacío
	(kwh)	(%)	(psi)	(psi)	(%)	(%)	(kw)
	1270 - 1340	40	9 a 12	7 a 10	38-40	< 24%	1420

Fuente: “Estándares operacionales GPLA”

1.6. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y SUS LÍMITES TÉCNICOS DE LOS EQUIPOS

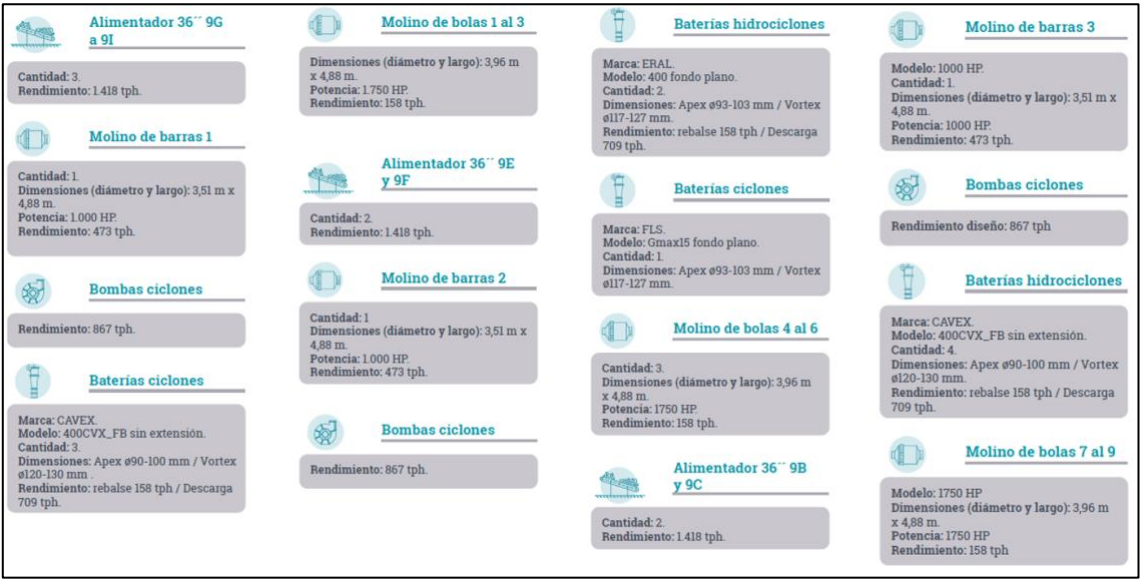
Con el fin de conocer cada sistema o componente principal del equipo y tener una aproximación de las funciones o parámetros, se presenta en este capítulo una breve descripción de los principales componentes que conforman esta planta. En la Figura que muestra la disposición de los equipos de la planta. seguido por la Figura se aprecian los equipos y sus límites técnicos que posee la planta convencional,

Identificar correctamente los límites técnicos de cada una de las fases operacionales de la planta es fundamental para la estrategia de mantenimiento a realizar, ya que a través de su reconocimiento es factible detectar las brechas que impactan los procesos productivos y su desempeño real. La metodología a utilizar será la que entrega a los equipos de trabajo las herramientas y prácticas para disminuir estas brechas a través de la mejora continua con el objetivo de alcanzar el valor comprometido.

La siguiente figura entrega un resumen detallado de los límites técnicos de la molienda convencional, horizonte al cual debe aspirar este trabajo en búsqueda de la captura de valor comprometida y la excelencia operacional.

1.6.1. Diagrama de Proceso Molienda Convencional

A continuación, se visualiza el diagrama 1-3 y la tabla 1-2, los cuales se identifican los limites técnicos de equipos que compone la molienda convencional, la cual será el caso de estudio para la implementación del proceso de MCC, debemos identificar nuestro parámetros e indicadores para ir en busca de alcanzar nuestros limites técnicos.



Fuente: “Libro Full Potencial Codelco”

Diagrama 1-3 Procesos Molienda Convencional

Tabla 1-2 Limites técnicos molienda convencional

Molienda Convencional		
	Unidad	Valor
Disponibilidad	%	98,6
UEBD	%	98,3
Rendimiento	tph	1.418
L. Técnico	ktpd	33,0
L.Teórico	ktpd	34,0

Fuente: “Libro Full Potencial Codelco”

1.6.2. Listado de equipos de criticidad Alta

El ordenamiento de los equipos está establecido de acuerdo con sus ubicaciones técnicas en el Software de mantenimiento SAP y son catalogados como equipos críticos.

Es fundamental incorporar la totalidad de equipos esenciales que cuenta la planta y que éstos sean tratados en sistemas del mismo modo que un equipo de criticidad alta.

A continuación, y como primer acercamiento e identificación de los equipos esenciales, se realiza un levantamiento sistémico para cada uno de sus subsistemas.

1.6.3. Descripción general

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

- a) Molinos barras
- b) Molinos bolas
- c) Bombas Centrifugas
- d) Baterías de hidro ciclones
- e) Sistema de transporte de mineral
- f) Sistema de lubricación

1.6.4. Especificaciones de los Componentes Principales

Con el fin de conocer cada sistema o componente principal del equipo y tener una aproximación de las funciones o parámetros, se presenta en esta sección una breve descripción de los principales componentes que conforman esta planta. En la Figura se aprecian los equipos principales que posee la molienda convencional.

1.6.4.1. Molinos barras

La molienda convencional, se compone de tres molinos barras, con un layout en serie dentro de una caverna en la mina subterránea de división andina. Este molino tiene una capacidad de 450tph con revestimientos de acero en su interior. En la figura 1-2 tiene una vista lateral real de este activo en su proceso de funcionamiento.



Fuente: Fotografía tomada en la molienda Convencional en proceso de operación del molino.

Figura 1-2 Molinos barras: MARCY 11,5' x 16'

1.6.4.2. Molinos bolas

Los molinos bolos de la molienda convencional son 10 en total, ubicados en paralelo, con una capacidad de 150tph promedio, con revestimientos de goma en su interior, los cuales son cambiados cada 1 vez al año. En la figura 1-3 tiene una vista lateral real de este equipo en su proceso de funcionamiento.



Fuente: Fotografía tomada en la molienda Convencional en proceso de operación del molino.

Figura 1-3 Molinos bolas: MARCY 12,5' X 16'

1.6.4.3. Bombas Centrifugas

Las bombas centrifugas mostrada en la figura 1-4 son el corazón de la molienda, estas se encargan de mover el flujo a la flotación. Son 10 bombas en total dentro de la molienda, las cuales están ubicadas bajo molinos.



Fuente: Fotografía tomada en la molienda Convencional en proceso de operación de molienda.

Figura 1-4 Bombas Centrifugas: ASH 14X12 WARMAN

1.6.4.4. Baterías de hidro ciclones

El producto final de los molinos se clasifica mediante los Hidro ciclones, estos están ubicados sobre los molinos y son 10 baterías de hidrociclones con 6 unidades por batería.



Fuente: Fotografía tomada en la molienda Convencional en proceso de operación de molienda.

Figura 1-5 Baterías de hidro ciclones: CAVEX 400 VULCO

1.6.4.5. Sistema de transporte de mineral

Las cintas transportadoras se usan principalmente para transportar materiales granulados, agrícolas e industriales, tales como roca sólida, cereales, carbón, minerales, etcétera, en minería es una parte fundamental del proceso para poder transportar del mineral proveniente desde la extracción hacia los procesos de chancado. En la Figura 1-6 se muestra la correa 10A, Esta correa es la cinta que alimenta al molino barras #1 para darle inicio al proceso de molienda.



Fuente: Fotografía tomada en la molienda Convencional en proceso de operación del molino.

Figura 1-6 Sistema de transporte de mineral: 36" X 16m EP 330 3 telas

La tabla 1-3 muestra el listado y características principales de las correaras transportadoras involucradas en el proceso de la molienda convencional, esta se describe técnicamente para genera el mejor plan de mantención en el análisis propuesto.

Tabla 1-3 Correas Transportadoras

AREA	CORREA N°	ANCHO [in]	LARGO [m]	CALIDAD	N° Telas
MOLINOS CONV.	C. ALIM 9B	36	16	EP-330	3
	C. ALIM 9C	36	16	EP-330	3
	C. ALIM 9E	36	16	EP-330	3
	C. ALIM 9F	36	16	EP-330	3
	C. ALIM 9G	36	16	EP-330	3
	C. ALIM 9H	36	16	EP-330	3
	C. ALIM 9I	36	16	EP-330	3
	CT 10A	36	77	EP-330	3
	CT 10B	36	77	EP-330	3
	CT 10C	36	77	EP-330	3

Fuente: Elaboración propia en base a los equipos instalados en la planta convencional.

1.6.4.6. Sistema de lubricación

El circuito de lubricación mostrado en la Figura 1-7, está compuesto por los siguientes componentes.

- 1 Bombas vicking
- 1 Bomba jacking
- 2 Filtros parker 12um
- 1 Estanque de aceite, capacidad 400lts



Fuente: Fotografía tomada en la molienda Convencional en proceso de operación del molino.

Figura 1-7 Sistema de Lubricación

1.7. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

A pesar de que el área de ingeniería de confiabilidad ha definido la estrategia global de análisis para los equipos de la planta, aún no existe una definición metodológica que permita definir las partes de los equipos en forma justificada y suficiente con sus respectivos síntomas y causas de avería, los cuales puedan ser asignados al momento que los equipos incurran en una falla y que permita la realización del modelo de gestión de equipos y los análisis de confiabilidad proyectados. En la actualidad la división Andina indica las partes, síntomas y causas de avería para los equipos por medio de catálogos de averías, los cuales se encuentran definidos de forma corporativa.

Este análisis busca identificar los principales modos de falla para trabajar sobre ellos y buscar el objetivo principal de este trabajo que es optimizar el plan de mantenimiento de la molienda convencional, a su vez se toman en cuenta el plan productivo que maneja Codelco andina en su programa productivo para cruzarlo con los objetivos del negocio.

En el 2023 y 2024 no se cumplen con los resultados de la molienda en los kpi de proceso y de resultado, es por eso por lo que con el MCC buscaremos actualizar el plan matriz de mantenimiento para que atienda el buen funcionamiento de los equipos críticos. Estos resultados se pueden analizar con mayor detalle en el Anexo 6 y 7.

Tabla 1-4 Resultados 2023 de disponibilidad y Programa Semanal

Año 2023	Meta P0	Δ
87,6%	90,4%	-2.8%
82%	85%	3%

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados.

Tabla 1-5 Resultados 2024 de disponibilidad y programa Semanal

Año 2024	Meta P0	Δ
90,6%	94,0%	-3.4%
84,7%	85%	-0,3%

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados.

1.8. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología de trabajo empleada para el desarrollo de este trabajo tuvo su base en el objetivo general y específicos, procediendo ordenadamente en cada etapa de este trabajo, lo cual sucedió de la siguiente forma:

Se comprendió el proceso productivo de División Andina; desde la etapa de extracción del mineral en las minas subterránea y a rajo abierto; el proceso de chancado; grueso y fino; los tipos de molienda: unitaria, convencional y SAG; la etapa de flotación colectiva; el tratamiento de aguas y la obtención del concentrado de cobre y molibdeno.

Mediante el manual técnico del molino, se explica el funcionamiento del equipo, los sistemas que lo componen y sus componentes individuales principales. Se reconocen las funciones de cada sistema, junto a parámetros de funcionamiento en División Andina.

Mediante bibliografía se estudia y comprende la teoría del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad MCC.

Se estudia la metodología de análisis enlazada al MCC, que corresponden al AMEF, que resulta ser la pieza claves en la determinación de los Modos de Fallas y las causas raíces del sistema crítico, que permitirán dirigir las estrategias de mantenimiento para mejorar la disponibilidad del sistema.

Junto al análisis de manuales técnicos, informes técnicos y literatura asociada, se establecen las funciones del equipo, sus fallas, modos de falla, sus efectos de las fallas y sus posibles tareas propuestas; y se elabora el plan de mantenimiento.

A continuación, en el diagrama 1-4, se detalla el esquema guía para la metodología del MCC:



Fuente: Elaboración propia en base a la metodología MCC Según SOMA.

Diagrama 1-4 Metodología del MCC

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

2. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

En este capítulo se describe el procedimiento que vamos a aplicar en este trabajo. La base de esta metodología se presentará en etapas predecesoras para ir dando una dirección al análisis de la información. Todo lo expuesto en este proceso, es el fundamento teórico del mantenimiento centrado en confiabilidad, el cual apunta a mostrar cual es la forma y estructura de nuestro análisis en la molienda convencional. En este capítulo se conecta el sistema de mantenimiento propuesto por Codelco Andina y la literatura de la gestión de mantenimiento.

2.1. ANTECEDENTES DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

El mantenimiento centrado en confiabilidad originado en la industria aeronáutica en la década de 1960 se introdujo en Chile durante las décadas de 1990 y 2000 como una estrategia de abordar los crecientes desafíos de la eficiencia, seguridad y costos en sectores como la minería, la energía y la fabricación. Su enfoque en la identificación de funciones críticas, el análisis de fallas, la optimización de planes de mantenimiento ha ganado relevancia en un contexto donde la competitividad, mejora continua y sustentabilidad son prioritarias para obtener los mejores resultados de la industrial.

La minería en Chile, como líder mundial en la producción de cobre, fue uno de los primeros países en Sudamérica en adoptar esta tecnología, principalmente la gran minería. Codelco y otras empresas privadas comenzaron a implementar esta metodología en sus equipos críticos y en sus equipos que tenían una baja confiabilidad sistémica, como chancadores, molinos SAG, correas transportadoras y sistemas de bombeo buscando reducir los tiempos entre falla y los costos por mantenimientos correctivos.

A medida que los beneficios del MCC se demostraron en la minería, esto se fue implementando como parte del sistema de mantenimiento que tiene Codelco en su gestión de activos y hoy es uno de los principales métodos para evaluar los proyectos de la norma NCC30.

Estos son algunos factores que impulsaron el MCC en la minería.

- Como la minería en Chile opera en ambientes hostiles, aumenta la necesidad de estrategias que garanticen la confiabilidad de los equipos.

- La fluctuación del precio del cobre y la alta presión en la competencia para de las mineras llevaron a optimizar los recursos y a reducir los costos, eso llevo a utilizar el MCC como herramienta principal para optimizar los recursos.
- La llegada de sensores, sistemas de monitoreo en línea y los análisis de datos facilito la integración del MCC con herramientas modernas como el mantenimiento predictivo.

2.1.1. Resultados y desafíos

- El MCC ha permitido reducir costos, mejorar la disponibilidad de equipos y garantizar operaciones más seguras y sustentables. Sin embargo, su implementación requiere una fuerte inversión inicial, capacitación técnica y un cambio cultural hacia un enfoque basado en datos y análisis. Estos desafíos son aún vigentes en empresas medianas y pequeñas que buscan adoptar esta metodología.
- En resumen, el MCC en Chile ha sido una herramienta clave para garantizar la sostenibilidad y eficiencia operativa, especialmente en la minería y sectores intensivos en activos. Su desarrollo está vinculado a la evolución tecnológica y a la necesidad de enfrentar un entorno operativo cada vez más desafiante y a mejorar la industria de mantenimiento 4.0.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) ha evolucionado como una metodología clave para garantizar la confiabilidad operativa en Codelco. Esta estrategia se encuentra integrada dentro del Sistema Operativo de Mantenimiento (SOMA), diseñado para maximizar el valor de los activos, reducir costos operativos y asegurar la sostenibilidad a largo plazo. SOMA proporciona un marco estructurado y adaptable, que guía la gestión del mantenimiento basado en mejores prácticas, excelencia operacional, estándares globales y tecnologías avanzadas.

Este modelo lo llevamos a cabo como una palanca a la implementación de diseños y planes de mantenimiento preventivo expuesto en la fase 4 del modelo de gestión impulsado por el libro de ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos ilustrado en el diagrama 2-1 y a la fase H del ciclo del análisis de desempeño del SOMA en Codelco Andina.



Fuente: Libro ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos

Diagrama 2-1 Modelo de procesos de gestión del mantenimiento (Crespo, 2007).

2.1.2. Sistema Operativo de Mantenimiento (SOMA) y MCC

SOMA se compone de ocho fases principales que abarcan desde la planificación estratégica hasta el análisis de desempeño post-mantenimiento. Dentro de este marco, la metodología MCC juega un rol fundamental al enfocarse en la identificación de funciones críticas, modos de falla y estrategias de mantenimiento óptimas.

La implementación de MCC en Codelco sigue estos pasos clave dentro del SOMA:

- a) Identificación de activos críticos: Priorización basada en impacto operativo y riesgo.
- b) Análisis de modos y efectos de falla (FMECA): Identificación de fallas potenciales y mitigación.
- c) Definición de tareas de mantenimiento: Preventivo, predictivo y correctivo según criticidad.
- d) Monitoreo continuo: Uso de herramientas tecnológicas como SAP PM y análisis de datos.

2.1.3. Aplicación del MCC en la Operación

Codelco ha implementado MCC como una práctica estándar en sus proyectos y operaciones. En proyectos de inversión, se asegura la integración de mantenibilidad y confiabilidad desde las etapas de diseño, a través de la norma NCC30. Esta norma establece roles, entregables y procesos que garantizan que los activos sean diseñados para un mantenimiento eficiente durante su ciclo de vida.

En operaciones, el MCC permite optimizar el ciclo de mantenimiento mediante herramientas avanzadas de análisis, como modelamiento de confiabilidad, monitoreo de condiciones y sistemas de priorización. Estas prácticas han demostrado su efectividad en la reducción de tiempos de inactividad y en la mejora de la disponibilidad de equipos clave.

2.1.4. Resultados Esperados y Alineación Estratégica entre el MCC y SOMA

La implementación de MCC dentro de SOMA está diseñada para alcanzar los siguientes objetivos:

- Incrementar la confiabilidad y disponibilidad de los activos.
- Reducir costos operativos y fallas imprevistas.
- Mejorar la seguridad y sostenibilidad en las operaciones.

Además, esta metodología se alinea con los objetivos estratégicos de Codelco, promoviendo la excelencia operativa, la eficiencia de recursos y la adaptación a las demandas cambiantes del negocio.

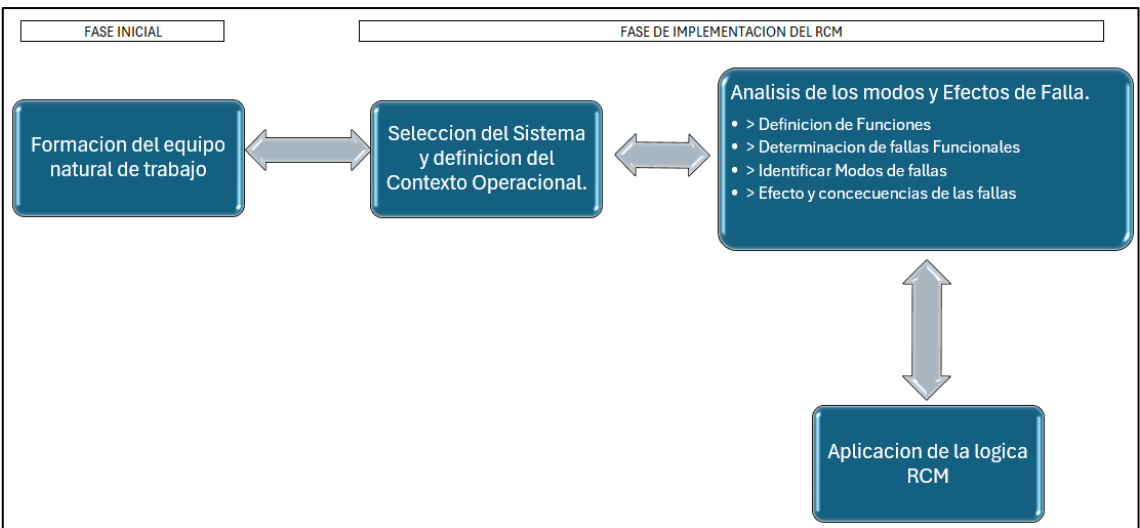
El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, como parte integral del SOMA, representa un avance significativo en la gestión de activos de Codelco. Su enfoque estructurado y basado en datos no solo fortalece la confiabilidad operativa, sino que también asegura que la Corporación continúe liderando la industria minera con estándares de clase mundial.

2.1.5. Proceso de Implementación del RCM

Este proceso se identifican 2 fases de implementación, las cuales generan un flujo de trabajo para desarrollar la metodología del RCM. Estas fases están organizadas de tal manera en el diagrama 2-2, que la información tenga una conexión con el proceso. Esta etapa es fundamental darle la dirección que establecemos, ya que demuestra

- a) Fase inicial
- b) Fase de implementación

Las cuales se describen en el siguiente flujograma.



Fuente: Elaboración propia en base al libro ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos.

Diagrama 2-2 Flujograma de Implementación del RCM

2.2. ASPECTOS TEÓRICOS DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

La metodología MCC nos permite realizar análisis de alta profundidad sobre la estrategia de mantenimiento. Estos estudios son de gran utilidad para definir estrategias de equipos nuevos o corregir estrategias cuyos resultados, tras ser estudiados, no cumplen las expectativas o no cubren modos de falla que están ocurriendo en el momento del análisis. Dicho esto, existen actualizaciones que pueden pasar directamente del análisis causa raíz a la actualización del plan de mantenimiento, debido a su menor complejidad y a que atacan una deficiencia conocida en la estrategia actual. Se trata de un abordaje

disciplinado, lógico y sustentable que permite “determinar qué debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe funcionando como sus usuarios lo desean en el presente contexto operativo”. Esto permite identificar las acciones que maximicen la productividad del activo, minimicen su impacto al medioambiente y velen por la seguridad de las personas y el entorno de los activos.

Posee cuatro características básicas:

- a) Preservar las funciones del sistema
- b) Identificar modos de falla que puedan afectar las funciones.
- c) Priorizar las necesidades de las funciones, según sus consecuencias.
- d) Seleccionar tareas para el plan matriz efectivas y aplicables, además de las acciones que minimicen las consecuencias de los modos de falla.

Según la norma SAE JA 1011 todo proceso que desee identificarse como MCC debe responder, de manera satisfactoria, siete preguntas fundamentales en la siguiente secuencia:

- a) ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados de su activo en el contexto de operación actual (funciones)?
- b) ¿De qué formas pueden dejar de cumplirse las funciones (fallas funcionales)?
- c) ¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?
- d) ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla (efectos de falla)?
- e) ¿De qué modo importa cada falla (consecuencias de falla)?
- f) ¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de las tareas)?
- g) ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva apropiada (acciones por defecto o a falta de)?

Previamente hay que definir el sistema a ser analizado, los límites físicos (fronteras) y las condiciones de ingreso/salida (input/output) que permitan luego definir claramente los parámetros funcionales. Como recomendación general, no es administrable definir como fronteras límites tales que dificulten el avance y la definición clara de las funciones, ya sea por complejidad de sistemas o escalamiento de tamaño -por ejemplo, una planta completa de flotación o EX-SW-, ni tampoco sistemas tan pequeños que generan muchos análisis para gestionar un activo de por sí.

Un análisis gestionable, bajo los parámetros del MCC, podría ser el sistema centralizado de lubricación de una molienda convencional o los sistemas principales hidráulicos de un molino SAG. En promedio un análisis con fronteras claramente definidas y administrables debería tomar entre 50 a 200 modos de falla.

Las funciones deben definirse dentro de un contexto operacional preestablecido donde el operador ubicará al activo. Este contexto operacional debe contener al menos:

- Localización física y lógica del activo: altura geográfica, variabilidad de temperatura, ubicación dentro de la planta o mina.
- Tipo de proceso (Batch, continuo, equipo móvil, rotativo, entre otros).
- Turnos de operación.
- Plan de mantenimiento y las estrategias.
- Demanda del proceso.
- Redundancias.
- Parámetros de calidad.
- Stock de repuestos de seguridad, de rotación e inventario.

Una vez definidas y descritas las fronteras del sistema a ser analizado y el contexto operacional, el análisis RCM recomendado bajo SOMA requerirá de los siguientes 4 pasos para ser ejecutado bajo el concepto de la norma:

- a) Formación del equipo natural de trabajo del RCM
- b) Selección del sistema y definición del contexto operacional y técnicas de análisis de criticidad aplicadas en el proceso de RCM
- c) Desarrollo del análisis de modos, efectos y criticidad de fallos (FMECA)
- d) Proceso de selección de las estrategias de mantenimiento (árbol lógico de decisión del RCM)

2.3. PROCESOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

Este proceso se consolida en diferentes etapas que dan vida a al mantenimiento centrado en confiabilidad, la forma de trabajar en esta metodología adopta una disciplina en serie, la cual cada paso abre el conocimiento y análisis del equipo de trabajo y el activo a investigar.

2.3.1. Formación del equipo natural de trabajo

Para enfrentarnos a un buen análisis de la información y dar respuesta a las preguntas básicas del RCM es estrictamente necesario constituir un equipo de trabajo multidisciplinario que sean de la propia organización y participes del área en que se desarrolla el RCM, este se muestra como ejemplo en la Figura 2-1. Estos deben ser de

todos los departamentos de la gerencia de mantenimiento, en donde se debe conformar un equipo entre la gerencia de mantenimiento y gerencia de plantas. En esto es muy relevante que el área de confiabilidad como experto y certificado en la materia lidere este proceso como facilitador.

Como garantizar el éxito de este análisis se deben tener las siguientes consideraciones.



Fuente: Elaboración propia en base a la estructura de la organización.

Figura 2-1 Equipo Natura de trabajo

2.3.1.1. Selección de los integrantes del equipo

Se debe incluir a personas que tengan conocimiento profundo del activo o sistema bajo análisis, como operadores, mantenedores, ingenieros de confiabilidad y personal técnico.

También se incluyen roles estratégicos como supervisores o líderes de mantenimiento, para asegurar que las decisiones tengan respaldo organizacional.

2.3.1.2. Conformación de un equipo multidisciplinario

Es esencial que el equipo tenga diversidad de conocimientos para cubrir todos los aspectos del activo: diseño, operación, mantenimiento y gestión.

Esto permite analizar las fallas y sus consecuencias desde diferentes perspectivas, lo que mejora la calidad del análisis.

2.3.1.3. Definición de roles y responsabilidades

Cada miembro del equipo debe conocer su rol en el proceso. Algunos roles comunes son:

- Facilitador: Responsable de guiar el análisis y asegurarse de que se sigan los principios del RCM.
- Especialista técnico: Proporciona información detallada sobre los aspectos técnicos del activo.
- Analista de datos: Revisa el historial de fallas y las estadísticas de confiabilidad.
- Toma de decisiones: Garantizar que las recomendaciones se implementen.

2.3.2. Selección del sistema y definición del contexto operacional

El primer paso para seleccionar el activo de una empresa es seleccionar uno en específico para aplicar la metodología RCM. La selección del equipo correcto debe hacerse considerando el impacto del equipo para la seguridad de los trabajadores, la protección del medio ambiente y la producción de los activos. Para averiguar cuál es la criticidad del equipo se debe diseñar una matriz de criticidad para jerarquizar el equipo. La forma de jerarquizar un equipo es efectuando un modelo de análisis de criticidad basado en riesgo.

2.3.3. Análisis de criticidad aplicado al proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad

El Análisis de Criticidad en el contexto del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) en Codelco es una metodología utilizada para priorizar los equipos o activos en función de su impacto potencial en la seguridad, el medio ambiente, la producción y los costos operativos. Este análisis permite enfocar los esfuerzos de mantenimiento en los activos más críticos, optimizando los recursos y reduciendo los

riesgos. A continuación, se describe cómo se aplica este análisis en el proceso RCM de Codelco:

El propósito principal del análisis es clasificar los activos según su importancia en la operación y determinar el nivel de atención requerido para cada uno. Esto asegura que los esfuerzos de mantenimiento estén alineados con las prioridades estratégicas de la organización, como la seguridad de las personas y la continuidad operativa.

El proceso generalmente incluye los siguientes pasos:

a) Identificación de los Activos

Se elabora un inventario detallado de los equipos que forman parte del proceso productivo.

Se seleccionan los activos más relevantes, como molinos, chancadores, sistemas de transporte y otros equipos clave en la planta concentradora.

b) Definición de Criterios de Evaluación

En Codelco, los criterios más comunes para evaluar la criticidad incluyen:

- Impacto en la seguridad y salud ocupacional: Consecuencias de fallas en la seguridad de los trabajadores.
- Impacto ambiental: Riesgos asociados a fugas, emisiones o daños ambientales.
- Impacto en la producción: Pérdidas de producción debido a la detención del equipo.
- Costos operativos: Gastos asociados a la reparación, reposición o mantenimiento del activo.
- Frecuencia y severidad de las fallas: Historial de fallas y su gravedad.

c) Asignación de Ponderaciones

Cada criterio se pondera según su relevancia para la operación. Por ejemplo, en Codelco, el impacto en la seguridad podría tener mayor peso que el costo operativo.

d) Evaluación de los activos

Cada activo se evalúa utilizando una matriz de criticidad que combina las ponderaciones de los criterios con las calificaciones asignadas a cada equipo.

e) Clasificación por Niveles de Criticidad

Los activos se agrupan en categorías, como Alta Criticidad, Media Criticidad y Baja Criticidad. Esto permite priorizar los recursos de mantenimiento.

A continuación, se definen la matriz de criticidad utilizada para clasificar a los equipos, con la fórmula 2-1 podemos clasificar el riesgo de

Este método integra el análisis de la probabilidad (frecuencia) de que se produzca un fallo y las consecuencias (nivel de severidad) que pueden traer consigo los fallos de los sistemas a evaluar.

- Fórmula para el calcular criticidad basado en riesgo

$$\text{Riesgo} = \text{Factor Frecuencia de fallos} \times \text{Factor Consecuencias}$$

Fuente: Elaboración propia en base a la fórmula de criticidad de equipos.

Ecuación 2-1 Criticidad

Los pasos que se deben realizar para la evaluación de las consecuencias son presentados en la siguiente figura. Se debe hacer referencia al análisis de los distintos impactos que cada falla podría tener o tiene sobre el contexto de operación de los equipos. El análisis y cálculo de consecuencias consta de tres pasos básicos. La figura muestra cómo se evalúa cada una de las dimensiones definidas. Es fundamental la participación de un(a) asesor(a) de seguridad y medioambiente durante el desarrollo del análisis dada su incidencia como dimensión particular a evaluar.

Entender cuáles son los parámetros para considerar al evaluar las consecuencias o impactos de las fallas en seguridad, medioambiente, producción y costos de mantenimiento. Calificar cada dimensión según un peso específica relativo, definida según estándar:

- Seguridad (P1) y medioambiente (P2) entre 0 y 40.
- Producción (P3) entre 1 y 12.
- Costos de mantenimiento (P4) entre 1 y 10.

La consecuencia de la falla será la sumatoria de los puntajes obtenidos por dimensión. Esta dimensión se identifica en la tabla 2-1.

Tabla 2-1 Consecuencia de la falla

Definición	P1 Seguridad	P2 Medio Ambiente	P3 Producción	P4 Costos de Mantenimiento
	Consecuencias potenciales que podría tener una falla para la seguridad de las personas hasta las comunidades vecinas.	Consecuencias sobre el medioambiente – en las instalaciones de Codelco o en áreas próximas – para el aire, el agua y/o la tierra.	Pérdidas o paradas de producción que pueden ocurrir como consecuencias potenciales de una falla.	Costos de mantenimiento en los cuales se incurre para restituir la función afectada por la ocurrencia de la falla.
Evaluación de Impacto	40 pts. Riesgo de accidente con fatalidades múltiples.	40 pts. Riesgo de daño medioambiental severo y de largo plazo.	12 pts. Pérdida de producción mayor a un día.	10 pts. Costos muy altos (ej.: sobre los US\$ 500.000)
	38 pts. Riesgo de accidente con una fatalidad.	32 pts. Riesgo de daño de largo plazo.	8 pts. Pérdida de producción entre 12 horas y un día.	8 pts. Costos altos (ej.: entre US\$ 100.000 y US\$ 500.000)
	30 pts. Riesgo de accidente con discapacidad permanente.	28 pts. Riesgo de daño de corto plazo.	4 pts. Pérdida de producción de entre dos y 12 horas.	5 pts. Costos medios (ej.: entre US\$ 50.000 y US\$ 100.000)
	12 pts. Riesgo de accidente con tiempo perdido.	10 pts. Riesgo de daño medioambiental menor.	2 pts. Pérdida de producción de hasta dos horas.	2 pts. Costos bajos (ej.: entre US\$ 10.000 y US\$ 50.000)
	0 pts. Sin riesgo para las personas.	0 pts. Sin daño al medioambiente.	0 pts. Sin pérdida de producción.	1 pt. Costos muy bajos (ej.: US\$ 10.000)
Puntaje de evaluación: P1 + P2 + P3 + P4				

Fuente: Elaboración propia en base a la métrica de criticidad de equipo.

Una vez realizada la evaluación de las consecuencias por dimensión, según la Tabla 2-1, se identifica el indicador de consecuencia resultante. Mientras que el efecto de la frecuencia de ocurrencia de falla queda determinado según Tabla 2-2 donde se obtiene el indicador de frecuencia resultante. Para este análisis solo se deben considerar aquellas fallas que ocasionen la pérdida de función primaria o secundaria del activo.

Tabla 2-2 Evaluación de consecuencia

Puntaje de evaluación de consecuencias	Indicador de Consecuencias
Consecuencia total sobre 38	6
Consecuencia total mayor o igual a 28 y menor a 38 o consecuencia en producción igual a 12	5
Consecuencia mayor o igual a 20 y menor a 28	4
Consecuencia mayor o igual a 10 y menor a 20	3
Consecuencia total mayor o igual a 4 y menor a 10	2
Consecuencia total inferior a 4	1

Fuente: Libro SOMA

Tabla 2-3 Frecuencia de ocurrencia de falla

Frecuencia de ocurrencia de falla	Indicador de Frecuencia
Ocurren fallas diariamente	6
Ocurren fallas una vez por semana	5
Ocurren fallas una vez al mes	4
Ocurren fallas una vez cada seis meses	3
Ocurren fallas una vez al año	2
Ocurren fallas una vez cada 10 años	1

Fuente: Libro SOMA

Finalmente, el Índice de criticidad queda determinado de acuerdo con la Tabla 2-4, como el producto entre el indicador de consecuencia y el indicador de frecuencia. Es imperativo que todos los equipos identificados cuenten con su ubicación técnica propia y tengan habilitado el indicador ABC en SAP en emplazamiento de su ubicación técnica.

Tabla 2-4 Evaluación de consecuencia

Puntaje de Evaluacion de Consecuencia	Indicador de Consecuencia	Indicador ABC SAP
Consecuencia x Frecuencia > 10	ALTA	A
4 < Consecuencia x Frecuencia ≤ 10	MEDIA	M
Consecuencia x Frecuencia es ≤ 4	BAJA	B

Fuente: Libro SOMA

Los resultados de la evaluación de los factores anteriores se presentan en una matriz de criticidad 5 x 5 en la tabla 2-5, donde en el eje vertical se presentan cinco niveles de frecuencia de los fallos, mientras que en el eje horizontal se presentan cinco niveles de frecuencia de fallos. La matriz está dividida en cuatro zonas (baja, media, alta y muy alta) que permiten definir la criticidad de los equipos evaluados.

Tabla 2-5 Matriz de Criticidad

TABLA DE CRITICIDAD							
Consecuencia	6	5	4	3	2	1	
	6	12	18	24	30	36	
	5	10	15	20	25	30	
	4	8	12	16	20	24	
	3	6	9	12	15	18	
	2	4	6	8	10	12	
	1	2	3	4	5	6	
		Frecuencia de Falla					
		1	2	3	4	5	6
Criticidad = Consecuencia x Frecuencia de Falla							

Criticidad Alta

Criticidad Media

Criticidad Baja

Fuente: Libro SOMA

2.3.4. Análisis del Contexto Operacional en RCM

El análisis del contexto operacional es una etapa clave en la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Consiste en definir y documentar las condiciones específicas en las que un sistema o activo opera, incluyendo los objetivos funcionales, las restricciones del entorno, y los parámetros técnicos y operativos. Este análisis es esencial para identificar las funciones del activo y evaluar cómo las fallas afectan el desempeño, la seguridad, el medio ambiente y los costos.

2.3.4.1. Componentes del Contexto Operacional

- a) Propósito del sistema
 - Descripción de las funciones principales y secundarias del activo o sistema.
 - Identificación de los procesos, productos o servicios que entrega.
- b) Condiciones de operación
 - Especificación de parámetros clave como temperatura, presión, caudal, velocidad, etc.
 - Descripción del entorno donde opera el sistema: condiciones ambientales, frecuencia de uso, disponibilidad de insumos.
- c) Entorno operacional
 - Factores físicos: Condiciones ambientales (altura, humedad, polvo, vibraciones).

- Factores humanos: turnos, formación del personal y roles en la operación.
- Restricciones externas: Reglamentos, normas de seguridad y consideraciones ambientales.

d) Límites del sistema

- Identificación de las fronteras físicas y funcionales del sistema (equipos y subsistemas incluidos).
- Conexiones con otros sistemas que influyen en su desempeño.

e) Entradas, procesos y salidas

El diagrama 2-3 de entrada proceso y salida es una herramienta grafica que facilita la visual del contexto operacional y a su vez identifica cada proceso como tal. A continuación, se detallan los factores más importantes del diagrama.

- Mapeo del diagrama de Entrada-Proceso-Salida (EPS) para visualizar las interacciones.
- Especificación de recursos necesarios (materias primas, energía, servicios).
- Identificación de productos primarios y secundarios, así como señales de control y alarmas.

I. Entrada (Input)

- Materia prima: Recursos tomados directamente del proceso, sistema o equipo, para transformarlos o convertirlos (Mineral, fluido, madera).
- Servicios: Recursos utilizados para el proceso, necesarios para la transformación de la materia prima. (Electricidad, agua, vapor)
- Controles: Estos constituyen un tipo especial en entrada, referidos a los sistemas de control y sus efectos sobre los equipos o procesos pertenecientes al área en cuestión.

II. Procesos

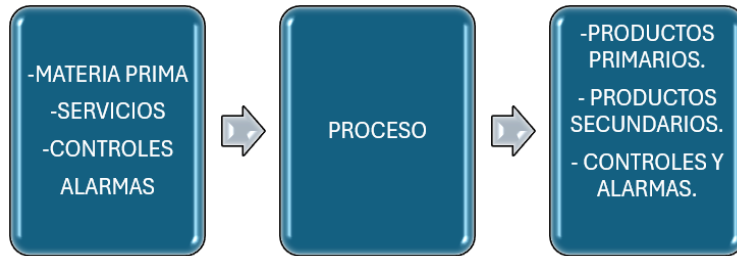
Estos deben ser registrados como una descripción de una función a ejecutar por el sistema o equipo en un lugar específico, con el fin de concentrar los esfuerzos de mantenimiento sobre la función que este siendo analizada.

III. Salidas (Output)

Los outputs son clasificados en dos tipos:

- Producto primario: Estos son los principales del sistema o equipo, es decir este asociado directamente a su razón de funcionamiento.

- Productos secundarios: Estos productos se derivan de funciones principales que cumple el sistema o equipo dentro del proceso, la pérdida de los productos secundarios puede causar en la mayoría de los casos la pérdida de las funciones primarias y estas pueden traer consecuencias severas para el proceso.



Fuente: Elaboración propia en base al proceso de MCC.

Diagrama 2-3 Entrada proceso salida

f) Variables operativas claves

- Parámetros de calidad, eficiencia y seguridad relacionados con el sistema.
- Condiciones ideales y tolerancias para el desempeño adecuado.

2.4. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLAS

El FMECA es una herramienta fundamental en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Se utiliza para identificar y analizar los modos de fallo en sistemas o activos, determinar sus efectos y consecuencias, y priorizar acciones de mantenimiento según la criticidad de cada modo de fallo. Esto permite optimizar la confiabilidad, seguridad y eficiencia de los equipos en un contexto operacional definido.

El Análisis de modos, efectos y criticidad de falla, entregará la información necesaria para identificar, priorizar, planificar, mitigar y/o eliminar las fallas del sistema. Además, entrega una instrucción previa de información necesaria para establecer tareas, frecuencias y tiempos de buen funcionamiento en el mantenimiento del equipo. Este análisis se encuentra dentro de las fases de implementación del RCM y en la fase H del ciclo SOMA, como herramienta que agrupa lo necesario en términos de información para ser llevar a cabo un buen y optimizado plan de mantenimiento,

2.4.1. FMECA. Definición de funciones y estándares de ejecución

- Funciones primarias: Describen el propósito principal del activo en el proceso. Ejemplo: una bomba debe transferir fluido a un caudal específico.
- Funciones secundarias: Incluyen aspectos como seguridad, contención o soporte estructural.
- Estándares de ejecución: Parámetros que especifican los niveles aceptables de desempeño, como caudal, presión o temperatura

2.4.2. FMECA. Definición de fallos funcionales

Una vez definida las funciones que cada componente o sistema debe cumplir en un contexto operacional, el siguiente paso es determinar cómo ese activo deja de cumplir sus funciones. Si este activo tiene una pérdida de una función es lo que en RCM se denomina falla funcional y las podemos desglosar en:

- Fallas totales: El activo no cumple ninguna parte de su función (por ejemplo, no bombea nada de agua).
- Fallas parciales: El activo opera fuera de los parámetros establecidos (por ejemplo, bombea a un caudal inferior al esperado).

2.4.3. FMECA. Definición de Modos de Fallos

Se identifican las causas físicas o mecánicas que generan los fallos funcionales (por ejemplo, motor quemado, eje fracturado o impulsor bloqueado).

2.4.4. FMECA. Definición de los efectos y Consecuencias de los Modos de fallos

Los modos de falla son las causas físicas que provocan las fallas funcionales totales o parciales. Esta determina cómo el modo de fallo afecta a la seguridad, el medio ambiente y la producción. Incluye aspectos como riesgos para la salud, impacto ambiental y costos operativos y estas se clasifican los fallos en consecuencias visibles (fáciles de detectar) u ocultas (difíciles de identificar sin inspección).

En esta parte del proceso, el objetivo principal del equipo natural de trabajo consiste en identificar que acontecerá en el contexto operacional cuando ocurre una falla ya identificada.

La identificación de los efectos del modo de fallo deberá incluir toda la información necesaria que ayude a soportar la evaluación de las consecuencias de la falla. Para ello se puede identificar con las respuestas a las siguientes preguntas. La idea de este proceso es utilizar la información del constituida.

- a) ¿Cómo se evidencia (si puede ser evidente) que un modo de fallo ha ocurrido?
- b) ¿Cómo podría afectar la ocurrencia de cada modo de fallo a la seguridad humana o al ambiente?
- c) ¿Cómo afectaría la ocurrencia de cada modo de fallo a la producción y las operaciones?

Cuando estos tres factores se combinan hace que cada modo de falla tenga una característica de impactar el negocio, ya sea en seguridad, medio ambiente y en la producción y esto se registra de los diferentes modos de fallas que se enuncian a continuación. -

- a) Modos de fallo con consecuencias ocultas
- b) Modos de fallo con consecuencias sobre la seguridad humana y el medio ambiente
- c) Modos de fallo con consecuencias operacionales
- d) Modos de fallo con consecuencias no operacionales

El FMECA es una metodología robusta que permite optimizar la gestión del mantenimiento, priorizando los esfuerzos en los activos más críticos y garantizando la confiabilidad operativa de los sistemas. Su éxito depende de un análisis exhaustivo y de

la colaboración de un equipo especializado, cuando hablamos de un equipo especializado, no referimos a las personas de la planta que desarrollan las funciones de mantenimiento y operación de los equipos.

2.5. PROCESO DE SELECCIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO (ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD)

El proceso de selección de una estrategia de mantenimiento para la gestión del riesgo y consecuencias de la falla debe considerar que la probabilidad condicional de algunos modos de falla se incrementará con la edad (o exposición al esfuerzo), lo que se conoce como mecanismo de degradación por “desgaste o fatiga”; que la probabilidad condicional de otros no cambiará con la edad (probabilidad de falla aleatoria o constante) y que la probabilidad condicional de otros aún podría decrecer con la edad, especialmente un gran grupo de componentes electrónicos, oleohidráulicos complejos y sistemas de control.

Todas las tareas programadas deben ser técnicamente factibles y debe valer la pena su realización (aplicables y efectivas). Si dos o más estrategias de mantenimiento para la gestión de falla propuestas son técnicamente factibles y merecen la pena (aplicables y efectivas), la estrategia con mejor relación de costo-eficiencia será elegida para aquellas que tengan sólo impacto operacional. En el caso de que tengan impacto en la seguridad de las personas, el medioambiente o las comunidades, es esencial que la estrategia minimice la consecuencia del riesgo a un nivel tolerable por las personas u organizaciones impactadas. Por lo tanto, es necesario realizar las siguientes preguntas para definir las estrategias de mantenimiento:

- ¿Qué podemos hacer para prevenir las fallas?
- ¿Qué podemos hacer si no se puede prevenir la falla?

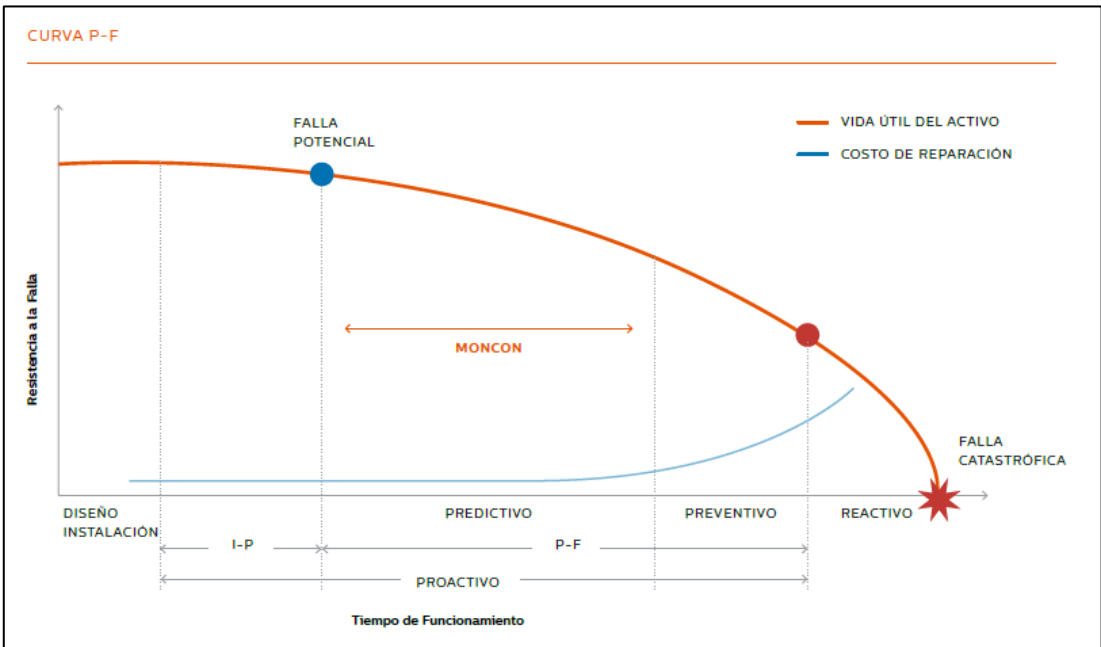
Dentro de la definición de estrategias, y considerando resolver la primera de las preguntas anteriores, las estrategias y criterios recomendados bajo la lógica de selección de las estrategias de mantenimiento impulsadas por la organización. En el siguiente flujograma podemos identificar los pasos a seguir para identificar el mantenimiento óptimo del ítem mantenible.

La lógica de la selección de estrategia busca clasificar el tipo de actividad de mantenimiento, que como objetivo principal tiene prevenir los modos de falla identificados. Este árbol lógico de decisión del RCM mostrado en el diagrama 2-4, permite

2.6.1. Estrategia de mantenimiento

Para la metodología de MCC, las actividades de mantenimiento preventivas se dividen en 2 categorías:

- a) Actividades de Mantenimiento preventivas.
- b) Actividades de Mantenimiento Correctivo



Fuente: Libro SOMA

Gráfico 2-1 Curva P-f

Gráficamente en la curva P-F del grafico 2-1, se aprecia la importancia y el por qué debemos realizar mantenimiento en base a una estrategia preventiva. Como se indicó, optimizar el mantenimiento reduciendo las fallas imprevistas y los costos asociados, siempre y cuando se haya definido y aplicado correctamente la estrategia de mantenimiento que será la carta de navegación para cumplir los objetivos mencionados.

Estas son las actividades de mantenimiento a las cuales vamos a encasillar nuestros planes de mantenimientos. Reducir el número de fallas imprevistas y maximizar la continuidad operacional de los activos permite a los técnicos dar sentido a lo que sucede en los equipos, e identificar cualquier activo que pueda requerir atención o reparación.

Con esto vamos a reducir los costos optimizando el mantenimiento general de los equipos, la predicción de eventos imprevistos mediante la evaluación constante del estado de los equipos va en directo beneficio de un mantenimiento planificado por sobre el reactivo, reduciendo los costos de mantenimiento a largo plazo. Hoy la molienda

convencional no posee un plan de mantenimiento estándar para atender las vulnerabilidades del proceso, por lo que la disponibilidad y confiabilidad de los activos cada vez en los años va descendiendo, esto lo podemos ver en el anexo 3.

El equipo de mantenimiento de la planta cuenta con todas las especialidades para generar una buena estrategia de mantenimiento. Todas las disciplinas están cubiertas por la estructura de la planta, condición que debemos ordenar y estructurar en el tiempo para hacer un uso eficiente de nuestros recursos. En el diagrama 2-5 presentamos la estructura que vamos a enfrentar el mantenimiento y como dirigirlo en nuestro nuevo plan.



Fuente: Nota técnica # 6: Optimización de planes de Mantenimiento: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF) Reliability Centered Maintenance (RCM)

Diagrama 2-5 Estrategia de Mantenimiento

A continuación, en la tabla 2-6 definimos las características básicas de nuestra estrategia de mantenimiento, la cual brinda el propósito de la acción del mantenedor.

Tabla 2-6 Definición de la estrategia de mantenimiento.

ESTRATEGIA	DEFINICIÓN	CONSIDERACIONES - CARACTERÍSTICAS
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Estrategia que interviene el equipo periódicamente para inspeccionar y reemplazar componentes, aún cuando el equipo esté operando satisfactoriamente, también, que busca anticiparse a la ocurrencia de las fallas a través del seguimiento de un síntoma o falla potencial y/o modelos de predicción estadísticos de analítica avanzada	› Mantenimiento basado en condición: estrategia que mediante diversas tecnologías evalúa la condición física y su evolución, detectando síntomas que determinen la necesidad del mantenimiento. Ejemplo: › Medición de vibraciones en rodamientos de poleas.
		› Tareas de reacondicionamiento basado en el tiempo : los cambios se realizan en un intervalo de tiempo predeterminado, usualmente llamada estrategia calendario en SAP, formalizado en días, semanas, quincenas, meses o años, independiente del estado del componente o función a reemplazar. Ejemplo: › Cambio de gualderas en correa transportadora.
		› Tareas de sustitucion-Reemplazo Programado: los cambios se realizan en un intervalo de uso predeterminado, llamada de estrategia basada en contadores en SAP, formalizado en horas de operación, ciclos, toneladas pasadas, entre otros, independiente del estado del componente o función a reemplazar. Ejemplo: › Cambio de Wet end en bombas
		› Inspecciones o búsqueda de fallas Ocultas: rutina de inspección visual de activos o componentes para evaluar si es necesario la intervención de mantenimiento para corregir anomalías detectadas. Todos los hallazgos deben ser canalizados por avisos/OT en SAP. Ejemplo: › Plan semanal de inspección visual en correas transportadoras, identificando derrames de mineral, desalineamientos, acumulación de carga, entre otros. Estos deben ir en búsqueda de los modos de fallos ocultos bajo condiciones normales de operación.
MANTENIMIENTO CORRECTIVO	Esta es una estrategia de mantenimiento donde se permite que ocurra un modo de falla específico sin ningún intento de anticiparlo o prevenirlo (a la falla).	› Rediseño: En el caso que ninguna actividad de mantenimiento preventiva asegure el buen funcionamiento o posibilidad de ocurrencia de los modos de fallos que afecten a la seguridad o al medio ambiente, es necesario rediseñar la estrategia de mantenimiento o el modo de fallo para minimizar o eliminar las consecuencias de los modos de falla. Cuando las consecuencias del modo de fallo son de carácter operacional o no operacional; y no se logra conseguir una actividad de mantenimiento preventivo que sea efectiva, la opción de seleccionar una estrategia de rediseño, se convierte en un proceso de justificación económica. › Actividades de Mantenimiento No programado: se considera una estrategia correctiva a en la cual la pérdida de una función primaria o secundaria no genera mayor impacto operacional o de riesgo a las personas, medioambiente y comunidad. Esta función puede ser reemplazada y/o reparada mediante un mantenimiento reactivo/correctivo o ingresarlo a la planificación si cumple con los horizontes preestablecidos.

Fuente: Libro SOMA

2.6.2. Planear e implementar acciones de mitigación

Si no es posible definir estrategias proactivas, las siguiente son acciones que pueden implementarse ya sea de manera planificada o vía análisis de pérdidas o Resolución de problemas (RdP).

2.6.2.1. Inspecciones Semanales

Son aquellas estrategias de mantenimiento que buscan evidenciar la pérdida de funciones latentes y/u ocultas relacionadas con dispositivos de seguridad sin capacidad inherente de autodetección bajo los siguientes criterios según la norma JA 1011:

- En caso de un modo de falla oculto (latente) donde la falla múltiple asociada tenga consecuencias para la seguridad o al ambiente, la tarea debe reducir la probabilidad del modo de falla a oculto al punto que reduzca la probabilidad de falla múltiple asociada a un nivel que sea tolerable al dueño o usuario del activo.
- En caso de un modo de falla oculto (latente) donde la falla múltiple asociada no tenga consecuencias para la seguridad o al ambiente, los costos directos e indirectos de hacer la tarea deben ser menores que los costos

directos e indirectos de la falla múltiple más el costo de reparación de la falla oculta medidos en un periodo de tiempo comparable.

La estrategia más conocida dentro de las tareas de mantenimiento detectivo es:

- a) Búsqueda de fallas: se basa en chequeos cíclicos para adelantarse a la ocurrencia de una falla múltiple, mostrando la pérdida de una función de protección (dispositivo de seguridad) de manera cíclica. La definición del intervalo óptimo de búsqueda de fallas debe calcularse en función del nivel de riesgo aceptable por la organización a una falla múltiple, la confiabilidad de la función protegida y la confiabilidad del dispositivo de protección. Es riesgoso asignar un intervalo de búsqueda de fallas por prueba y error, dado el nivel de impacto de la falla múltiple.
- b) Acciones de rediseño: ellas involucran los siguientes objetivos de mejora en función del análisis de pérdidas o resolución de problemas documentado y validado internamente o por terceros de reconocida experiencia, en los sistemas y equipos en falla:
 - Rediseño físico y/o lógico de los componentes, sistemas o equipos que eviten, minimicen la falla o error humano que los condiciona.
 - Rediseño de procedimientos de operación, calibración y/o posicionamiento de los equipos, sistemas.
 - Reentrenamiento y/o redefinición de los procedimientos que eviten o minimicen el error humano.

2.6.3. Indicadores de mantenimiento a evaluar

Como organización y negocio debemos medir la eficiencia de nuestros procesos, por lo que se generan indicadores claves para definir si la metodología aplicada es viable a nuestros planes de mantenimiento y a nuestros planes productivos.

2.6.3.1. Indicadores de Costes CIF: (Costos de indisponibilidad por fallas)

Expresión del cálculo del costo de indisponibilidad.

Unidad de medición: Dinero/Tiempo (Dólares/año, Dólares/mes, etc)

$$CIF = FF \times MDT \times (CD + CP)$$

Fuente: Libro SOMA

Ecuación 2-2 Costo de indisponibilidad

Donde:

- FF= Frecuencia de fallos = Fallos/Mes, Fallos/Año, etc.
- MDT = Tiempo promedio fuera de servicio = Horas/Falla
- CD = Costos directos de corrección por fallas por Hora = \$/Hora (Incluye costos por materiales y mano de obra).
- CP = Costos por penalización por hora = \$/Hora (Incluye los costos de oportunidad provocados por los eventos de fallos (Paradas de planta, retrasos de producción, productos deteriorados, baja calidad, reprocesos, impacto en seguridad, ambiente, etc)

2.6.3.2. Indicador Operacional: D (Disponibilidad)

El indicador de disponibilidad es el principal indicador técnico que el SOMA lo direcciona al mantenimiento de los equipos, el cual permite englobar el porcentaje del tiempo en que el equipo está en condiciones para cumplir su función. Su unidad de medida es en porcentaje e influyen dos factores directos:

Expresión del cálculo de disponibilidad.

$$D = (MTTF / (MTTF + MDT)) * 100\%$$

Fuente: Libro SOMA

Ecuación 2-3 Disponibilidad de equipo

Donde:

- MTTF: Mean time to failure (Tiempo promedio operativo hasta la falla)
- MDT: Mean down time (Tiempo promedio fuera de servicio)

La evolución del mantenimiento, en el mundo de la industria intensiva en activos, puede describirse a partir de niveles con características propias en base a la madurez de prácticas y desempeño logrado por las áreas. Codelco tiene como foco implementar, desarrollar e incrementa gradualmente la madurez de la gestión de activos y perseguir la aspiración de llegar hasta el nivel de clase mundial.

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD EN EL MOLINO BARRAS #1 DE LA MOLIENDA
CONVENCIONAL

3. APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD Y RE-DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL.

En este capítulo integramos la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad en la organización como herramienta fundamental para la optimización de los planes de mantenimiento. Con esto buscaremos resolver el objetivo principal de este trabajo.

3.1. FORMACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO

De acuerdo con lo enunciado en nuestra metodología identificamos que las partes funcionales para el óptimo desarrollo de un MCC en Codelco Andina, debe estar definido por los siguientes roles y funciones. La tabla 3-1 demuestra la reunión sostenida con el equipo para comenzar a generar la data, antecedentes, información y planes para un buen análisis. Se realizaron 4 reuniones de equipo en las cuales se siguió con la metodología propuesta.

Tabla 3-1 Definición del equipo natural

#	Rol	Cargo	Nombre
1	Facilitador	Jefe Unidad Molienda	Sandrino Canepa Valencia
2	Mantenimiento	Jefe Turno Mantenimiento	Alex Torres Godoy
3	Operaciones	Jefe Unidad Operaciones Molienda	Fernando Urrutia Ricouz
4	Ingeniero de Procesos	Ingeniero Senior de Procesos	Williams Soto Faundez
5	Confiabilidad	Ingeniero Confiabilidad	Rodolfo Hermosilla Brito
6	Planificación y programación	Ingeniero planificación	Oscar Tapia Tapia
7	Excelencia Operacional	Experto en metodología Lean	Daniel Barra Muñoz
8	Especialistas	Supervisor de Mantenimiento Molienda	Eduardo Barrera Guerrero

Fuente: Elaboración propia en base a la estructura de la empresa.

3.2. SELECCIÓN Y DEFINICIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL

En esta sección del capítulo se describe la planta en un nivel más técnico y asociado al proceso productivo, la cual se detallan los aspectos de operación del molino Barras.

3.2.1. Propósito de molino barras

El molino barras N°1, tiene como propósito ejecutar la primera etapa de conminución de una de las tres secciones en molienda convencional correspondiente a la sección A. El mineral proveniente de chancado fino con un tamaño de 1/2 in, ingresa al molino de barras N°1 a razón de 450 Ton por hora, generando la pulpa de mineral y a su vez alimentando los molinos de bolas N°1, N°2 y N°3.

3.2.2. Descripción general del Sistema

La alimentación del mineral de la molienda convencional y unitario 1 es alimentada por la mina subterránea y mina rajo de Codelco división andina. La mina subterránea aporta el 40% del mineral, mientras que el 60% es aportado por la mina rajo. El mineral pasa por las etapas de chancado para luego ingresar a tres tolvas de almacenamiento (tolvas A, B y C) de mineral, con una capacidad de 4000 toneladas cada una.

La molienda convencional la componen 3 molinos de barras (molino de barras N°1, N°2 y N°3) y 10 molinos de bolas, de tamaño de 11,5 pie por 16 pie para los molinos de barras y 12,5 pie por 16 pie, para los molinos de bolas, procesando como molienda convencional en total de 1450 toneladas por hora (Barras N°1 450 ton por hora, Barras N°2 450 ton hora y Barras N°3 550 ton por hora). La Tolva A, alimenta el molino de barras N°1 y al molino unitario 1, este último es un molino anexo a la molienda convencional ya descrita, las tolvas B y C, alimentan al molino de barras N°2 y barras N°3 respectivamente. Luego el mineral que fue triturado por las barras de acero de los molinos de barras, esta pulpa es utilizada para alimentar a sus respectivos molinos de bolas, el molino Barras N°1 alimenta a los molinos de Bolas N°1, N°2 y Bolas N°3; el molino de Barras N°2 alimenta a los molinos de Bolas N°4, N°5 y N°6 y el Molino de Barras 3 alimenta a los molinos de Bolas N°7, N°8 y N°9; para la alimentación al molino de bolas 10 se utiliza alguno de los molinos de bolas del N°7 al N°9. Luego la pulpa de mineral clasificada por cada batería de ciclones de los molinos de bolas es enviada al circuito de flotación con un sólido de P80 inferior al 240 um.

3.2.3. Descripción específica del proceso

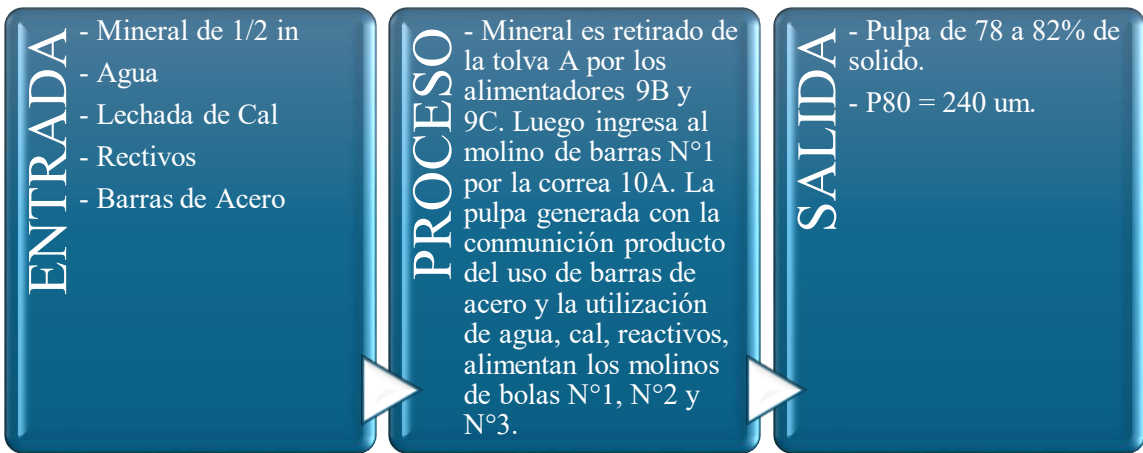
El mineral de la Tolva A, es retirado por los alimentadores 9B y 9C, estos dos últimos alimentadores que cuentan con sus respectivas guillotinas corta flujo son los que retiran el mineral para alimentar el molino de barras 1, por medio de la correa 10A ingresando al molino por medio de chute de alimentación, la pulpa de mineral se alimenta a los molinos de bolas N°1, N°2 y N°3, mediante el cajón de distribución de mineral, el cual presenta tapones y válvulas rotork para la distribución. El molino de barras 1, tiene un sistema de transmisión piñón - corona y el sistema de acoplamiento del motor (1000 HP) con el piñón es por medio del embrague. El sistema de lubricación de los descansos del molino es una lubricación hidrodinamica, donde el flujo requerido para los descansos de 3 a 4 galones por minuto. Para el sistema de lubricación piñón - corona se utiliza grasa de alta viscosidad

3.2.4. Equipos principales

- a) Alimentador 9B
- b) Alimentador 9C
- c) Cinta transportadora 9B
- d) Cinta transportadora 9C
- e) Cinta transportadora CT 10A
- f) Chute alimentación CT10a a molino barras #1
- g) Sistema hidráulico de guillotinas alimentadores
- h) Sistema de lubricación; estanque, bombas y enfriador
- i) Sistema de engrase
- j) Sistema motriz; eje piñón, embrague y motor.
- k) Cajón distribuidor de mineral; estanque, tapones y válvulas Rotork

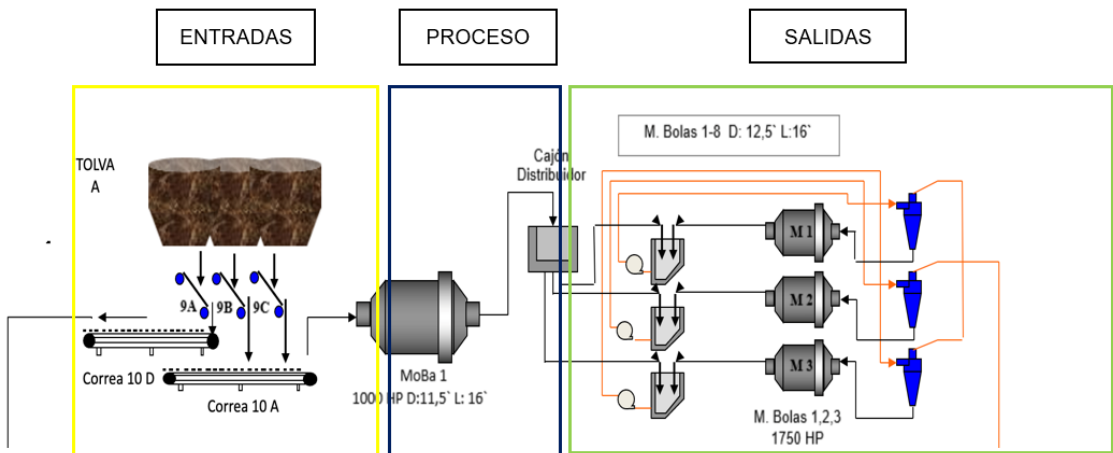
3.2.5. Diagrama entrada - proceso - salida

Se enuncia este diagrama 3-1 y 3-2, se identifican en el proceso las etapas de la molienda, y se describe la entrada de las materias primas, el proceso desarrollado en la molienda y salida del producto del final a la flotación.



Fuente: Elaboración propia en base al proceso productivo de los molinos barras.

Diagrama 3-1 Diagrama de entrada y Salida.



Fuente: Software PI System book

Diagrama 3-2 Diagrama de entrada y Salida

3.2.6. Diagrama de proceso y estándares operacionales.

A continuación, se enuncian los estándares, variables y límites de operación de la molienda convencional, así poder identificar la función del molino barras dentro de la molienda.

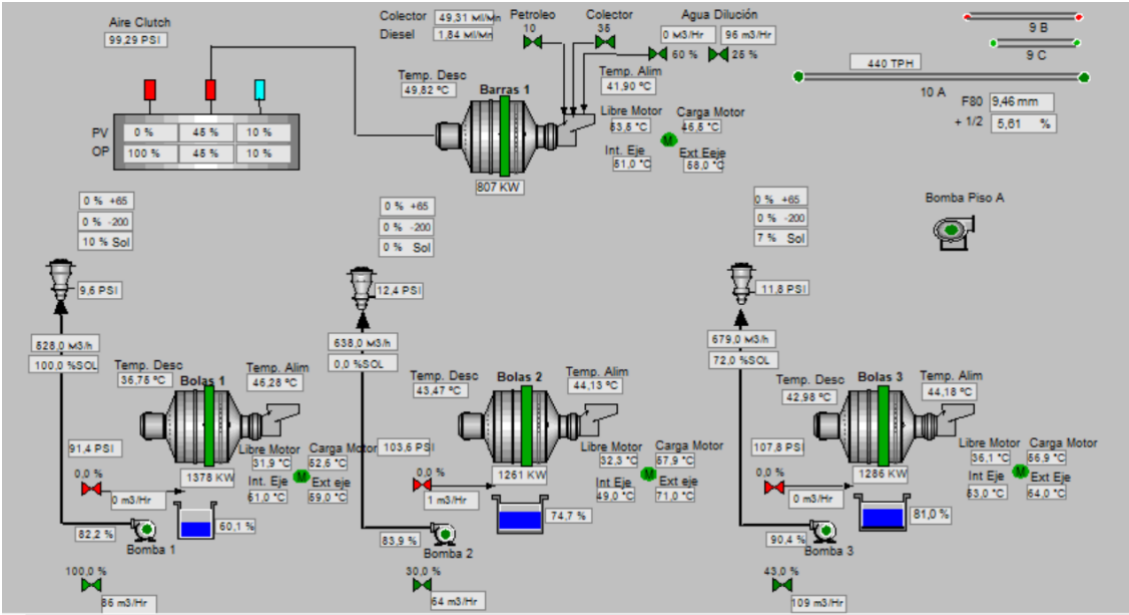
3.2.6.1. Parámetros de Funcionamiento

De acuerdo a la tabla 3-2 se puede determinar el funcionamiento óptimo de los equipos. Si de acuerdo con su funcionamiento alguna falla genera una perdida productiva, la vamos a considerar con perdida parcial del tratamiento planta.

Tabla 3-2 Estándar de Operación

Estándares Operacionales Molienda Convencional							
MOBA #1;#2;#3	Potencia de trabajo	Nivel llenado Barras	% Sólidos MoBa				
	(kwh)	(%)	(%)				
	700 - 800	35	78-82%				
MOBOS	Rango Potencia de trabajo	Nivel llenado Bolas	Presión Baterías 1 al 6	Presión Baterías 7 al 10	%Sólidos Rebalse Batería Cy	Granulometría producto (%+65#)	Potencia en Vacío
	(kwh)	(%)	(psi)	(psi)	(%)	(%)	(kw)
	1270 - 1340	40	9 a 12	7 a 10	38-40	< 24%	1420

Fuente: Estándares de operaciones Planta Concentradora



Fuente: Software PI System book

Diagrama 3-3 Diagrama de proceso

3.3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD APLICADA A LOS EQUIPOS DEL MOLINO BARRAS

Para el análisis del FMECA se determinó por juicio experto evaluar los equipos de muy alta y alta criticidad para realizar el plan de mantenimiento, en la cual se agruparán en familias de equipos, ya que son componentes de un mismo modelo.

De acuerdo con el análisis se identifica la siguiente jerarquización de equipos.

Tabla 3-3 Análisis de criticidad

Código de Equipo	Denominación	FRECUENCIA Falla/Año	SHA	C	IP-CM	CONSECUENCIAS	TOTAL	JERARQUIZACIÓN
ANCO-MO-MCO-SEA-ALI9B	CINTA TRANSPORTADORA ALIMENTADOR 9B	2	1	1	2	2	4	Baja Criticidad
ANCO-CON-MOC-ALB-STR-POL 1	PULLEY DE COLA ALIMENTADOR 9B	2	1	1	2	2	4	Baja Criticidad
ANCO-CON-MOC-ALB-STR-POL 2	PULLEY MOTRIZ ALIMENTADOR 9B	2	1	1	2	2	4	Baja Criticidad
ANCO-CON-MOC-ALB-STR-RED	CAJA REDUCTORA ALIMENTADOR 9B	2	1	1	2	2	4	Baja Criticidad
ANCO-CON-MOC-ALB-STR-MOT	MOTOR ELECTRICO CINTA TRANSPORTADORA ALIMENTADOR 9B	1	1	1	2	2	2	Baja Criticidad
ANCO-CON-MOC-ALB-CHU	TOLVA ALIMENTADOR 9B	3	1	1	1	1	3	Media Criticidad
ANCO-CON-MOC-ALB-CHU 1	CHUTE TRASPASO ALIMENTADOR 9B A CT 10A	3	1	1	1	1	3	Media Criticidad
ANCO-CON-CONV-MB08	UNIDAD HUDRAULICA GUILLOTINAS ALIMENTADOR 9B	2	1	1	1	1	2	Baja Criticidad
ANCO-CON-CONV-MB09	GUILLOTINAS CORTA FLUJO ALIMENTADOR 9B	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad
ANCO-MO-MCO-SEA-ALI9C	CINTA TRANSPORTADORA ALIMENTADOR 9C	2	1	1	4	4	8	Media Criticidad
ANCO-CON-MOC-ALC-STR-POL 1	PULLEY DE COLA ALIMENTADOR 9C	2	1	1	4	4	8	Media Criticidad
ANCO-CON-MOC-ALC-STR-POL 2	PULLEY MOTRIZ ALIMENTADOR 9C	2	1	1	4	4	8	Media Criticidad

ANCO-CON-MOC-ALC-STR-RED	CAJA REDUCTORA ALIMENTADOR 9C	2	1	1	4	4	8	Media Criticidad
ANCO-CON-MOC-ALC-STR-MOT	MOTOR ELECTRICO CINTA TRANSPORTADORA ALIMENTADOR 9C	2	1	1	4	4	8	Media Criticidad
ANCO-CON-MOC-ALC-CHU	TOLVA ALIMETNADOR 9C	1	1	1	4	4	4	Media Criticidad
ANCO-CON-MOC-ALC-CHU 1	CHUTE TRASPASO ALIMENTADOR 9C	3	1	1	1	1	3	Media Criticidad
ANCO-CON-CONV-MB17	UNIDAD HUDRAULICA GUILLOTINAS ALIMENTADOR 9C	3	1	1	1	1	3	Media Criticidad
ANCO-CON-CONV-MB18	GUILLOTINAS CORTA FLUJO ALIMENTADOR 9C	2	1	1	1	1	2	Baja Criticidad
ANCO-CON-CONV-MB19	CHUTE TRASPASO ALIMENTADOR 10A	1	1	1	3	3	3	Baja Criticidad
ANCO-CON-CONV-MB20	CINTA TRANSPORTADORA CT10A	2	1	1	3	3	6	Baja Criticidad
ANCO-CON-CONV-MB21	PULLEY DE COLA CT 10A	2	1	1	3	3	6	Baja Criticidad
ANCO-CON-CONV-MB22	PULLEY MOTRIZ CT10A	2	1	1	3	3	6	Baja Criticidad
ANCO-CON-CONV-MB23	PULLEY AUXILIAR MOTRIZ CTA10A	2	1	1	3	3	6	Baja Criticidad
ANCO-CON-CONV-MB24	CHUTE DE ALIMENTACION CT 10A A BARRAS #1	5	1	1	3	3	15	Muy Alta Criticidad
ANCO-MO-MCO-MBA-MBA01	MOLINO BARRAS #1	5	1	1	4	4	20	Muy Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SMO-MOT-01	EJE PIÑON MOLINO BARRAS #1	3	1	1	4	4	12	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SMO-MOT-02	EJE INTERMEDIO MOLINO BARRAS #1	1	1	1	4	4	4	Media Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SMO-MOT	MOTOR MOLINO BARRAS #1	1	1	1	5	5	5	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-CHAL	CHUTE DESCARGA MOLINO BARRAS #1	2	1	1	3	3	6	Baja Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SES	CAJON DISTRIBUIDOR MOLINO BARRAS #1	2	1	1	3	3	6	Baja Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SES-01	TAPON 1 MOLINO BARRAS #1	1	1	1	2	2	2	Baja Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SES-02	TAPON 2 MOLINO BARRAS #1	1	1	1	2	2	2	Baja Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SES-03	TAPON 3 MOLINO BARRAS #1	1	1	1	2	2	2	Baja Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SES-04	VALVULA ROTORK 1 MOLINO BARRAS #1	1	1	1	2	2	2	Baja Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SES-05	VALVULA ROTORK 2 MOLINO BARRAS #1	1	1	1	2	2	2	Baja Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SES-06	VALVULA ROTORK 3 MOLINO BARRAS #1	1	1	1	2	2	2	Baja Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-SSL	ESTANQUE DE LUBRICACION MOLINO BARRAS #1	1	2	1	2	2	2	Baja Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-MO1	BOMBA DE LUBRICACION A MOLINO BARRAS #1	4	2	1	3	3	12	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-MO1	MOTOR BOMBA DE LUBRICACION A MOLINO BARRAS #1	4	2	1	3	3	12	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-MO2	BOMBA DE LUBRICACION B MOLINO BARRAS #2	4	2	1	3	3	12	Alta Criticidad

ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-MO2	MOTOR BOMBA DE LUBRICACION B MOLINO BARRAS #2	4	2	1	3	3	12	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-MO3	MOTOR BOMBA DE LEVANTE MOLINO BARRAS #1	4	2	1	3	3	12	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-MO3	BOMBA DE LEVANTE MOLINO BARRAS #1	4	2	1	3	3	12	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-MO4	MOTOR BOMBA DE LEVANTE MOLINO BARRAS #1	4	2	1	3	3	12	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-MO5	ENFRIADOR MOLINO BARRAS #1	1	1	1	2	2	2	Baja Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-SSE	SISTEMA DE ENGRASE MOLINO BARRAS #1	1	1	1	2	2	2	Baja Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-SE	EMBRAGUE MOLINO BARRAS #1	3	3	1	4	4	12	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-SE	ACUMULADOR DE AIRE MOLINO BARRAS #1	1	1	1	2	2	2	Baja Criticidad

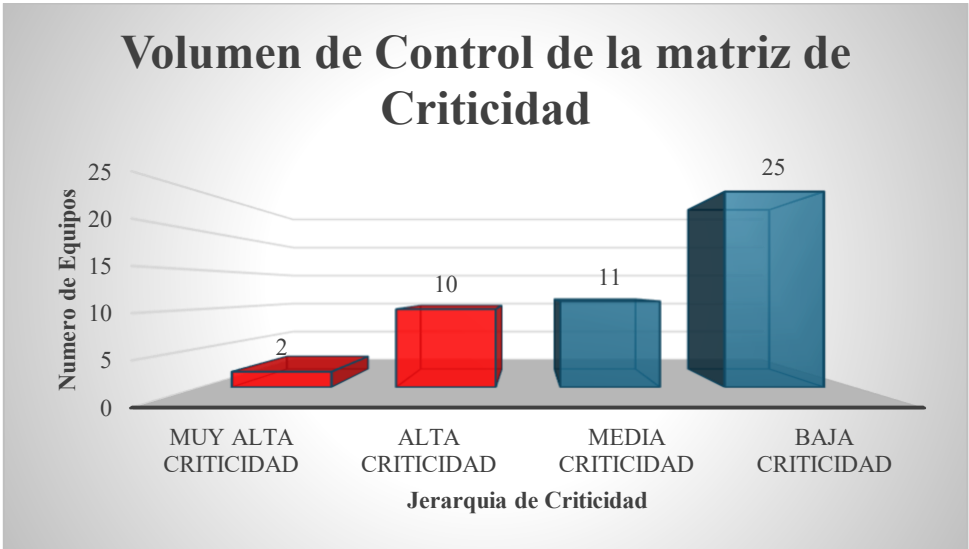
Fuente: Elaboración propia en base a los equipos de la molienda convencional.

En la tabla 3-3 muestra la agrupación de los equipos evaluados y su volumen de control. Con esto podemos identificar que existen un total de 48 activos en la cuales 12 de ellos entraran en materia de evaluación.

Tabla 3-4 Resumen Análisis de criticidad

Jerarquización	Numero de Equipos
Muy Alta Criticidad	2
Alta Criticidad	10
Media Criticidad	11
Baja Criticidad	25
Total, general	48

Fuente: Elaboración propia en base al estudio de criticidad.



Fuente: Elaboración propia en base al estudio de criticidad.

Gráfico 3-1 Análisis de criticidad

Para efectos del análisis vamos a agrupar los equipos en la Tabla 3-5 en la jerarquización de muy alta criticidad y alta criticidad en 5 sistemas. Acción que también se ve respaldada por el análisis Pareto que se puede revisar en el Anexo 4, este también detalla en termino de criticidad cuales son los sistemas que presentan más modos de falla y perdidas a nuestro negocio.

Tabla 3-5 Equipos críticos del Análisis de criticidad

Código de Equipo	Denominación	FRECUENCIA Falla/Año	SHA	C	IP-CM	CONSECUENCIAS	TOTAL	JERARQUIZACIÓN
ANCO-CON-CONV-MB24	CHUTE DE ALIMENTACION CT 10A A BARRAS #1	5	1	1	3	3	15	Muy Alta Criticidad
ANCO-MO-MCO-MBA-MBA01	MOLINO BARRAS #1	5	1	1	4	4	20	Muy Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SMO-MOT-01	EJE PIÑON MOLINO BARRAS #1	3	1	1	4	4	12	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SMO-MOT	MOTOR MOLINO BARRAS #1	1	1	1	5	5	5	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-MO1	BOMBA DE LUBRICACION A MOLINO BARRAS #1	4	2	1	3	3	12	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-MO1	MOTOR BOMBA DE LUBRICACION A MOLINO BARRAS #1	4	2	1	3	3	12	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-MO2	BOMBA DE LUBRICACION B MOLINO BARRAS #2	4	2	1	3	3	12	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-MO2	MOTOR BOMBA DE LUBRICACION B MOLINO BARRAS #2	4	2	1	3	3	12	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-MO3	MOTOR BOMBA DE LEVANTE MOLINO BARRAS #1	4	2	1	3	3	12	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-MO3	BOMBA DE LEVANTE MOLINO BARRAS #1	4	2	1	3	3	12	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-MO4	MOTOR BOMBA DE LEVANTE MOLINO BARRAS #1	4	2	1	3	3	12	Alta Criticidad
ANCO-CON-MOC-MBA-001-SIL-SE	EMBRAGUE MOLINO BARRAS #1	3	3	1	4	4	12	Alta Criticidad

Fuente: Elaboración propia en base al estudio de criticidad.

Para ello integramos nuestro análisis en estos equipos, que serán nuestra carta de navegación para generar un plan de mantenimiento optimizado y real de acuerdo a la criticidad del sistema. Estos sistemas serán analizados en la hoja de registro del MCC para identificar su función, fallas y costos por avería.

Lista de equipos a analizar de acuerdo a la jerarquización de criticidad.

1. Molino Barras
2. Correa transportadora
3. Sistema Motriz; Eje piñón y embrague.
4. Sistema de Lubricación y Engrase.
5. Motor Eléctrico Molino Barras.

3.4. ANÁLISIS DE LOS MODOS Y EFECTOS DE FALLOS (FMECA) APLICADA A LOS EQUIPOS CRITICOS DEL MOLINO BARRAS

En la tabla 3-6 siguiente se muestran los resultados del FMECA del Molino de barras #1 de la Molienda Convencional, de acuerdo análisis de la planta, este equipo es el que desarrolla mayor cantidad de fallas de acuerdo con el software SEP. Esta desarrollado en nuestro equipo crítico del sistema.

Tabla 3-6 FMECA

HOJA DE REGISTRO RCM Organización: CODELCO Planta: MOLIENDA CONVENCIONAL				Sistema: MOLINO BARRAS #1 Equipos y Sistemas principales: 1- Sistema de Transporte Mineral 2- Molino Barras #1 3- Motor Eléctrico 4- Sistema Motriz 5- Sistema de lubricación y Engrase			ENT: EQUIPO NATURAL DE TRABAJO Facilitador: Sandrino Canepa Valencia. \$134.000 Valor económico de la molienda 1 Hr Fuera de servicio. Equivale a 450tms, ley 0,7 y recuperación de un 86%						
#	Sistema	Función	#2	Falla Funcional	#3	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año [fallas/año]	Efecto de Falla	TPPR horas	Imp. Prod. [USD/hora]	Costos directos por falla [USD/falla] Fuente SAP	Imp. SHA USD/falla	Riesgo USD/año
1	Sistema de Transporte de mineral	1- Transporte de 450 t/h de mineral húmedo, en forma Segura Sustentable, desde las tolvas de fino a un tamaño de 12 mm al interior del molino barras	1A1	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminución	1A1	Corte de cinta Transportadora CT10A	3	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Falta de alimentación de Mineral al Molino. Acción correctiva: Cambio de Cinta transportadora.	30	\$4.020.000	\$11.000	0	\$12.093.000
2			1A2	Perdida parcial del proceso de transporte de mineral; En condiciones de trabajo pierde capacidad de carga la cinta y comienza a resbalar.	1A2	Desgaste de revestimiento Pulley motriz	1	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Falta de alimentación de mineral al Molino por resbalamiento de cinta. Acción correctiva: Cambio de Pulley	16	\$2.144.000	\$ 5.000	0	\$ 2.149.000

3			1A3	Perdida parcial del proceso de transporte de mineral; En condiciones de trabajo pierde capacidad de carga la cinta y comienza a resbalar.	1A3	Desgaste de revestimiento pulley de cola	1	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Falta de alimentación de mineral al Molino Acción correctiva: Cambio de Pulley	16	\$2.144.000	\$ 5.000	0	\$ 2.149.000
4			1A4	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminución. Alta vibración del sistema, Alta temperatura.	1A4	Falla de rodamiento pulley Motriz	2	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Falta de alimentación de mineral al Molino Acción correctiva: Cambio de rodamientos	12	\$1.608.000	\$ 750	0	\$ 3.217.500
5			1A5	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminución. Alta vibración del sistema, Alta temperatura.	1A5	Falla de rodamiento pulley de Cola	2	Evidente / No evidente:SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Falta de alimentación de mineral al Molino Acción correctiva: Cambio de rodamientos	6	\$804.000	\$ 750	0	\$ 1.609.500
6			1A6	Perdida parcial del proceso de transporte de mineral; Se identifica derrame de mineral a pisos.	1A6	Rotura de Chutes de traspaso	6	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Perdida de tratamiento planta, operación fuera de estándar. Acción correctiva: reparación estructural de plancha de acero.	6	\$804.000	\$ 300	0	\$ 4.825.800

7			1A7	Perdida parcial del proceso de transporte de mineral; Se identifica derrame de mineral a pisos.	1A7	Rotura de Chutes alimentación Molino Barras	10	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA:SI Efecto operacional (síntomas): Derrame de mineral al piso de la planta. Acción correctiva: reparación de Chute de alimentación.	6	\$804.000	\$ 5.000	0	\$ 8.090.000
8			1A8	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminución. Alta temperatura en polin, desalineamiento de cinta.	1A8	Elementos rodantes (Polines) con desgaste o trancados.	12	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Perdida de función Acción correctiva: Cambio de polines	4	\$536.000	\$ 1.000	0	\$ 6.444.000
9			1A9	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminución. Alta vibración del sistema, Alta temperatura, desalineamiento de cinta.	1A9	Falla Caja reductora Sistema motriz	2	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Perdida de función por operación de sistema fuera de estándar, bajo rendimiento. Acción correctiva: Cambio de caja reductora	12	\$1.608.000	\$ 9.000	0	\$ 3.234.000

10			1A10	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminución. Alta vibración del sistema, Alta temperatura, desalineamiento de cinta.	1A10	Falla Motor Eléctrico Cintas transportadoras	2	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): No ingresa mineral al molino. Acción correctiva: Cambio de motor eléctrico	12	\$ 1.608.000	\$ 10.000	0	\$ 3.236.000
11	Molino Barras	2- Moler 450 t/h de mineral húmedo, en forma Segura y Sustentable, desde un tamaño de 12 mm hasta un tamaño en que el 80% es menor que 240 micrones mediante barras de acero.	1B1	Pérdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el revestimiento del Molino.	1B1	Revestimientos con desgaste excesivo	4	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Embaque de cajón descarga por alta granulometría Acción correctiva: Cambio de revestimiento	12	\$ 1.608.000	\$ 3.300	0	\$ 6.445.200
12			1B2	Pérdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el revestimiento del Molino.	1B2	Corte de Pernos de revestimiento	40	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Perdida de Función, derrame de mineral que contamina los sistemas colindantes. Acción correctiva: Cambio de pernos revestimiento	6	\$ 804.000	\$ 700	0	\$ 32.188.000

13			1B3	Pérdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el sistema motriz del molino.	1B3	Trunnión del Muñón de lado alimentación con desgaste excesivo	1	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Operación bajo los estándares de fabricante, pérdida de aceite. Acción correctiva: Cambio de trunnion	96	\$12.864.000	\$ 85.000	0	\$ 12.949.000
14			1B4	Pérdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el sistema motriz del molino.	1B4	Trunnión del Muñón de lado descarga con desgaste excesivo. Alta temperatura.	1	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Perdida de función Acción correctiva: Cambio de trunnion	96	\$12.864.000	\$ 80.000	0	\$ 12.944.000
15			1B5	Pérdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el sistema motriz del molino. Perdida de aceite del sistema.	1B5	Sello de Caucho (Bunna) de los descansos de molino con desgaste excesivo	1	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): filtración de mineral Cambio de sello trunnion.	60	\$8.040.000	\$ 700	0	\$ 8.040.700
16			1B6	Pérdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el sistema estructural del molino	1B6	Pernos de ensamble de estructura de molino sueltos o cortados (Cilindro, tapas y Descansos)	6	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Acción correctiva: Cambio de sello trunnion.	6	\$804.000	\$ 700	0	\$ 4.828.200
17			1B7	Perdida Parcial del proceso: Perdida de mineral por la descarga, sellado ineficiente.	1B7	Elementos de desgaste conjunto chute descarga con desgaste excesivo. (parrillas descarga)	5	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Rebalse de mineral en la descarga del molino. Acción correctiva: Cambio de parrillas de descarga	4	\$536.000	\$ 100	0	\$ 2.680.500

18			1B8	Perdida Parcial de proceso: Aumento De temperatura por roce de componente, operación fuera de estándar.	1B8	Conjunto de Descanso bronce dañados en lado alimentación y Descarga.	1	Evidente / No evidente: NO Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Alza de temperatura en el conjunto de descanso. Acción correctiva: Cambio de descanso de bronce.	96	\$12.864.000	\$ 90.000	0	\$ 12.954.000
19			1B9	Pérdida total del proceso: Fuga de mineral, perdida de hermeticidad de los sellos de pernos de molino.	1B9	Revestimientos del Molino Suelos (alimentación, Cilindro y Tapa)	10	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): filtración de mineral por los elementos de sujeción del molino (Pernos) Acción correctiva: Re Torque de pernos de revestimiento.	4	\$536.000	\$ 100	0	\$5.361.600
20	Sistema Motriz	3- Sistema Motriz Engranaje y piñón debe transmitir el movimiento desde el motor a la corona a parámetros de vibración bajo los 5 mm/s y con una temperatura diferencial de 10°C.	1C1	Pérdida total del proceso: No transmite movimiento a la corona.	1C1	Corte de pernos Base Eje piñón. Exceso de vibraciones, de acuerdo con parámetros normales de operación el molino debe trabajar bajo los 10mm/s. SI esta vibración supera los 15mm/s entra en un grado de emergencia.	1	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Alta vibración, valores sobre los 15mm/s Acción correctiva: reparación de perno Sole Plate	12	\$1.608.000	\$ 25.000	0	\$ 1.633.000

21			1C2	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Pérdida de transmisión al molino, rodamientos dañados.	1C2	Falla de Rodamiento eje piñón. Alta vibración, sobre 5mm/s Alta temperatura, sobre los 80°C	2	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Alta vibración, valores sobre los 15mm/s, temperatura sobre 80°C. Acción correctiva: Cambio de Eje piñón	16	\$2.144.000	\$ 15.000	0	\$ 4.318.000
22			1C3	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Pérdida de transmisión al molino, fractura de eje	1C3	Fisura en diente eje piñón. Exceso de vibraciones, de acuerdo con parámetros normales de operación el molino debe trabajar bajo los 10mm/s. SI esta vibración supera los 15mm/s entra en un grado de emergencia.	1	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Alta vibración, valores sobre los 15mm/s, temperatura sobre 80°C. Acción correctiva: Cambio de Eje piñón	16	\$2.144.000	\$ 15.000	0	\$2.159.000
23			1C4	Pérdida parcial del proceso de transporte de mineral; Pérdida de transmisión al molino, fractura de diente.	1C4	Fisura en diente Corona. Exceso de vibraciones, de acuerdo con parámetros normales de operación el molino debe trabajar bajo los 10mm/s. SI esta vibración supera los 15mm/s entra en un grado de emergencia.	1	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Alta vibración. Acción correctiva: Corte de diente y evaluación semanal.	24	\$3.216.000	\$ 15.000	0	\$3.226.00

24			1C5	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Pérdida de transmisión al molino, resbalamiento de sistema de embrague, alta temperatura. Y pérdida de aire clutch.	1C5	Falla embrague. Pérdida de presión de aire por diseño bajo 90psi.	3	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Alta vibración, Alta temperatura, fricción. Acción correctiva: Cambio de embrague	12	\$1.608.000	\$ 32.000	0	\$ 4.920.000
25			1C6	Pérdida parcial del proceso de transporte de mineral; Alta vibración estructural del área de transmisión condiciona la operación del molino a menor tratamiento.	1C6	Falla de Sole plate. Exceso de vibraciones, de acuerdo con parámetros normales de operación el molino debe trabajar bajo los 10mm/s. SI esta vibración supera los 15mm/s entra en un grado de emergencia.	1	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Alta vibración. Sobre 20mm/s Acción correctiva: Soldadura de Sole plate y perforación.	24	\$3.216.000	\$ 1.000	0	\$ 3.217.000
26			1C7	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Pérdida de hermeticidad del embrague.	1C7	Falla válvula Acumulador de Aire. Pérdida de presión de aire por diseño bajo 90psi.	2	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Pérdida de Aire clutch o baja presión de aire. Acción correctiva: Cambio de línea de aire.	6	\$804.000	\$ 100	0	\$ 1.608.200

27			1C8	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Perdida de hermeticidad del embrague.	1C8	Falla de línea de aire embrague. Perdida de presión de aire por diseño bajo 90psi.	4	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Perdida de Aire clutch o hermeticidad, baja presión de aire. Acción correctiva: Cambio de línea de aire.	6	\$804.000	\$ 100	0	\$ 3.216.400
28			1C9	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Perdida de hermeticidad del embrague.	1C9	Falla de Rotor Seal. Perdida de presión de aire por diseño bajo 90psi.	4	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Perdida de Aire clutch o hermeticidad. Acción correctiva: Cambio de Rotor Seal	4	\$536.000	\$ 100	0	\$ 2.144.400
29			1C10	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Alta temperatura en el sistema motriz, Eje piñón y descanso de molino.	1C10	Perdida de aceite por descanso Eje piñón. La temperatura optima del eje piñón como ítems mantenible es de 40°C. Toda operación fuera de ese rango está generando un daño al activo.	2	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Sellos de descanso molino en mal estado. Acción correctiva: Cambio de línea de aire.	16	\$2.144.000	\$ 3.000	0	\$ 4.294.000
30			1C11	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Alta temperatura en el sistema motriz, operación fuera de estándar	1C11	Alta temperatura Eje piñón, sobre 10°C de diferencial. Bajo el estándar de mantenimiento, el equipo debe operar bajo los 10°C.	8	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Aumento de temperatura eje piñón. Operación fuera de estándar. Acción correctiva: Alineamiento de eje piñón - Corona.	6	\$804.000	\$ 600	0	\$ 6.436.800

31	Motor eléctrico principal del molino debe proporcionar el movimiento al sistema de transmisión de la corona	4- Proporcionar movimiento al sistema de transmisión del piñón corona a una potencia de 1340kwh y a una temperatura de 60 °C.	1D1	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	1D1	Interruptor de Poder (alimentación Transformador Ciclo-Convertidor) no opera.	1	Evidente / No evidente: NO Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Opera sobre carga de Motor Molino Acción correctiva: Cambio de Interruptor.	6	\$804.000	\$ 10.000	0	\$ 814.000
32			1D2	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	1D2	Interruptor (alimentación Transformador de Excitación) no opera.	1	Evidente / No evidente: NO Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Opera sobre carga de Motor Molino Acción correctiva: Cambio de Interruptor.	6	\$804.000	\$ 10.000	0	\$ 814.000
33			1D3	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	1D3	Desconector alimentación al Transformador de Control no opera correctamente.	1	Evidente / No evidente: NO Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Opera sobre carga de Motor Molino Acción correctiva: Cambio de Interruptor.	6	\$804.000	\$ 1.000	0	\$ 805.000
34			1D4	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	1D4	Interruptor de salida del Transformador de Control dañado.	1	Evidente / No evidente: NO Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Opera sobre carga de Motor Molino Acción correctiva: Cambio de Interruptor.	6	\$804.000	\$ 1.000	0	\$ 805.000

35			1D5	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	1D5	Interruptor de salida del Transformador de Control dañado.	1	Evidente / No evidente: NO Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Opera sobre carga de Motor Molino Acción correctiva: Cambio de Interruptor.	6	\$804.000	\$ 1.000	0	\$ 805.000
36			1D6	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor Eléctrico. Cambio de componentes	1D6	Transformador de Control dañado.	1	Evidente / No evidente: NO Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Opera sobre carga de Motor Molino Acción correctiva: Cambio de Interruptor.	6	\$804.000	\$ 25.000	0	\$ 829.000
37			1D7	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor Eléctrico. Cambio de componentes	1D7	Relé Multifunción (alimentador Transformador Ciclo-Convertidor) opera inadecuadamente.	1	Evidente / No evidente: NO Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Opera sobre carga de Motor Molino Acción correctiva: Cambio de Interruptor.	2	\$268.000	\$ 10.000	0	\$ 278.000
38			1D8	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor Eléctrico. Cambio de componentes	1D8	Cables de Alimentación al motor cortados.	1	Evidente / No evidente: NO Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Opera sobre carga de Motor Molino Acción correctiva: Cambio de Interruptor.	12	\$1.608.000	\$ 100	0	\$ 1.608.100
39			1D9	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor Eléctrico. Cambio de componentes	1D9	Falla estator	1	Evidente / No evidente: NO Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Opera sobre carga de Motor Molino Acción correctiva: Cambio de Motor, Estator.	120	\$16.080.000	\$ 100.000	0	\$ 16.180.000

40			1D10	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor Eléctrico. Cambio de componentes	1D10	Falla Rotor	1	Evidente / No evidente: NO Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Opera sobre carga de Motor Molino Acción correctiva: Cambio de Motor, Rotor.	120	\$16.080.000	\$ 100.000	0	\$ 16.180.000
41			1D11	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor Eléctrico. Cambio de componentes	1D11	Falla Excitador CC	1	Evidente / No evidente: NO Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Opera sobre carga de Motor Molino Acción correctiva: Cambio de Motor, Excitador.	60	\$8.040.000	\$ 100.000	0	\$ 8.140.000
42			1D12	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor Eléctrico. Cambio de componentes	1D12	Falla Eje Motor	1	Evidente / No evidente: NO Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Opera sobre carga de Motor Molino Acción correctiva: Cambio de Motor, Excitador.	60	\$8.040.000	\$ 320.000	0	\$ 8.360.000
43	Sistema de lubricación y engrase	5- Sistema de lubricación y Engrase Molino; Proporcionar 1,5 gpm de aceite filtrado a 500 psi y 27°C para enfriar, lubricar y levantar hidrostáticamente los cojinetes del muñón fijo y 1,5 gpm para los cojinetes con almohadilla satelital y 18.14 gpm para los cojinetes del muñón libre.	1 E1	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación en los descansos del molino.	1 E1	No llega aceite a los descansos por contaminación del lubricante.	8	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Operación del molino fuera de estándar, se debe detener debido a que daña los descansos de bronce del equipo. Acción correctiva: Cambio de Aceite	12	\$1.608.000	\$ 3.000	0	\$ 12.888.000

44			1 E2	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación en los descansos del molino. Cambio de componente.	1 E2	Falla en Bomba de lubricación, Baja impulsión.	6	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Bajo flujo de aceite, operación fuera de estándar. Acción correctiva: Cambio de Bomba de lubricación.	6	\$804.000	\$ 2.000	0	\$ 4.836.000
45			1 E3	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación en los descansos del molino. Cambio de componente.	1 E3	Falla en Bomba de lubricación, Bomba trancada.	6	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): No llega flujo de aceite en los descansos del molino. Acción correctiva: Cambio de Bomba de lubricación.	6	\$804.000	\$ 2.000	0	\$ 4.836.000
46			1 E4	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación y refrigeración en los descansos del molino. Contaminación de aceite con agua. Cambio de componente.	1 E4	Falla en Intercambiador de calor, rotura de tubos de agua.	2	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Contaminación aceite por agua. Acción correctiva: Cambio de intercambiador de calor	6	\$804.000	\$ 6.000	0	\$ 1.620.000
47			1 E5	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación en los descansos del molino. Saturación de Filtros. Cambio de componente.	1 E5	Falla de filtros de lubricación, filtros obstruidos o rotos.	10	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Bajo flujo de aceite en los descansos del molino. Acción correctiva: Cambio de filtros.	2	\$268.000	\$ 800	0	\$ 2.688.000
48			1 E6	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación en los descansos del molino.	1 E6	Falla de Motor Bomba de lubricación, motor con baja aislación eléctrica.	6	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Falta de flujo en los descansos del molino. Acción correctiva: Cambio de motor bomba.	6	\$804.000	\$ 1.000	0	\$ 4.830.000

Fuente: Elaboración propia en base a la metodología MCC

3.5. PLAN DE MANTENIMIENTO GENERAL APLICADA A LOS EQUIPOS CRITICOS DEL MOLINO BARRAS

Se genera un plan de mantenimiento de acuerdo con los modos de falla identificados bajo el FMECA y a la metodología aplicada con el árbol de decisión. Con esto logramos la optimización de nuestro plan de mantención de acuerdo a las actividades de mantenimiento recomendadas.

Tabla 3-7 Plan de Mantenimiento desarrollado a partir del RCM en el molino Barras

#	Sistema	Función	#2	Falla Funcional	#3	Modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Responsable	Costo por Materiales	Costo Mano de Obra	Costos directos de la actividad de Mantenimiento	Costos del plan Anual
1	Sistema de Transporte de mineral	1- Transporte de 450 t/h de mineral húmedo, en forma Segura y Sustentable, desde las tolvas de fino a un tamaño de 12 mm al interior del molino barras	1A1	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminución	1A1	Corte de cinta Transportadora CT10A	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Pauta de inspección Semanal Control de desgaste; medición de espesores. En base a los estándares de mantenimiento se deja un límite bajo para el cambio de cinta. Considerando en el plan el cambio 1 vez por año.	52	Técnico de Monitoreo de condiciones. (MONCON)	\$ 10.000	\$ 600	\$ 10.600	\$ 551.200

2			1A2	Perdida parcial del proceso de transporte de mineral; En condiciones de trabajo pierde capacidad de carga la cinta y comienza a resbalar.	1A2	Desgaste de revestimiento Pulley motriz	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Pauta de inspección. Control de desgaste; medición de espesores. Considerando en el plan el cambio 1 vez por año.	52	Técnico de Mantenimiento Mecánico.	\$ 5.000	\$ 600	\$ 5.600	\$ 291.200
3			1A3	Perdida parcial del proceso de transporte de mineral; En condiciones de trabajo pierde capacidad de carga la cinta y comienza a resbalar.	1A3	Desgaste de revestimiento pulley de cola	Mantenimiento Preventivo; Tarea de reacondicionamiento	Tareas en base a condición: Pauta de inspección. Control de desgaste; medición de espesores. Considerando en el plan el cambio 1 vez por año.	52	Técnico de Monitoreo de condiciones. (MONCON)	\$ 5.000	\$ 600	\$ 5.600	\$ 291.200
4			1A4	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminución. Alta vibración del sistema, Alta temperatura.	1A4	Falla de rodamiento pulley Motriz	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de Termografía.	52	Técnico de Monitoreo de condiciones. (MONCON)	\$ 1.000	\$ 600	\$ 1.600	\$ 83.200
5			1A5	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminución. Alta vibración del sistema, Alta temperatura.	1A5	Falla de rodamiento pulley de Cola	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de Termografía.	52	Técnico de Monitoreo de condiciones. (MONCON)	\$ 1.000	\$ 600	\$ 1.600	\$ 83.200

6			1A6	Perdida parcial del proceso de transporte de mineral; Se identifica derrame de mineral a pisos.	1A6	Rotura de Chutes de traspaso	Mantenimiento Preventivo; Tarea de sustitución y reemplazo programado.	Tarea de sustitución y reemplazo programado: Cambio de revestimiento interiores. reparación estructural de plancha base. Considerando en el plan el cambio 1 vez por año.	12	Técnico de Mantenimiento mecánico	\$ 300	\$ 150	\$ 450	\$ 5.400
7			1A7	Perdida parcial del proceso de transporte de mineral; Se identifica derrame de mineral a pisos.	1A7	Rotura de Chutes alimentación Molino Barras	Mantenimiento Preventivo; Tarea de sustitución y reemplazo programado.	Tarea de sustitución y reemplazo programado: Cambio de revestimiento interiores. reparación estructural de plancha base. Considerando en el plan el cambio 1 vez por año.	12	Técnico de Mantenimiento mecánico	\$ 4.500	\$ 600	\$ 5.100	\$ 61.200
8			1A8	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminución. Alta temperatura en polin, desalineamiento de cinta.	1A8	Elementos rodantes (Polines) con desgaste o trancados.	Mantenimiento Preventivo; Tarea de sustitución y reemplazo programado.	Tarea de sustitución y reemplazo programado: Cambio de polines por pauta mensual.	12	Técnico de Mantenimiento mecánico	\$ 1.000	\$ 600	\$ 1.600	\$ 19.200

9			1A9	Perdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminución. Alta vibración del sistema, Alta temperatura, desalineamiento de cinta.	1A9	Falla Caja reductora Sistema motriz	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de Termografía.	12	Técnico de Monitoreo de condiciones (MONCON)	\$ 8.200	\$ 600	\$ 8.800	\$ 105.600
10			1A10	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminución. Alta vibración del sistema, Alta temperatura, desalineamiento de cinta.	1A10	Falla Motor eléctrico Cintas transportadoras	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de Termografía.	12	Técnico de Monitoreo de condiciones (MONCON)	\$ 10.000	\$ 600	\$ 10.600	\$ 127.200
11	Molino Barras	2- Moler 450 t/h de mineral húmedo, en forma Segura y Sustentable, desde un tamaño de 12 mm hasta un tamaño en que el 80% es menor que 240 micrones mediante barras de acero.	1B1	Pérdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el revestimiento del Molino.	1B1	Revestimientos con desgaste excesivo	Mantenimiento Preventivo; Tarea de sustitución y reemplazo programado.	Tarea de sustitución y reemplazo programado. Pauta de mantención mensual. medición de Espesores medición por Nube de Puntos Considerando en el plan el cambio 1 vez por año.	1	Técnico de Mantenimiento mecánico	\$ 2.700	\$ 600	\$ 3.300	\$ 3.300

12			IB2	Pérdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el revestimiento del Molino.	IB2	Corte de Pernos de revestimiento	Mantenimiento Correctivo; Re-Diseño.	Tarea de sustitución y reemplazo programado. Pauta de mantención mensual. Cambio de pernos en mal estado.	12	Técnico de Mantenimiento mecánico	\$ 1.000	\$ 600	\$ 1.600	\$ 19.200
13			IB3	Pérdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el sistema motriz del molino.	IB3	Trunnion del Muñon de lado alimentación con desgaste excesivo	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de Termografía.	12	Técnico de Monitoreo de condiciones (MONCON)	\$ 83.000	\$ 1.000	\$ 84.000	\$ 1.008.000
14			IB4	Pérdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el sistema motriz del molino.	IB4	Trunnion del muñon de lado descarga con desgaste excesivo. Alta temperatura.	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de Termografía.	12	Técnico de Monitoreo de condiciones (MONCON)	\$ 78.000	\$ 600	\$ 78.600	\$ 943.200
15			IB5	Pérdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el sistema motriz del molino. Perdida de aceite del sistema.	IB5	Sello de Caucho (Bunna) de los descansos de molino con desgaste excesivo	Mantenimiento Correctivo; Re-Diseño.	Tarea de sustitución y reemplazo programado. Pauta de mantención mensual. Cambio de sellos.	4	Técnico de Mantenimiento mecánico	\$ 100	\$ 600	\$ 700	\$ 2.800

16			IB6	Perdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el sistema estructural del molino	IB6	Pernos de ensamble de estructura de molino sueltos o cortados (Cilindro, tapas y Descansos)	Mantenimiento Correctivo; Re Diseño.	Tarea de sustitución y reemplazo programado. Pauta de mantención mensual. Cambio de pernos en mal estado.	12	Técnico de Mantenimiento mecánico	\$ 100	\$ 600	\$ 700	\$ 8.400
17			IB7	Perdida Parcial del proceso: Perdida de mineral por la descarga, sellado ineficiente.	IB7	Elementos de desgaste conjunto chute descarga con desgaste excesivo. (parrillas descarga)	Mantenimiento Correctivo; Re Diseño.	Tarea de sustitución y reemplazo programado. Pauta de mantención mensual. Cambio de componentes en mal estado.	12	Técnico de Mantenimiento mecánico	\$ 100	\$ 600	\$ 700	\$ 8.400
18			IB8	Perdida Parcial de proceso: Aumento De temperatura por roce de componente, operación fuera de estándar.	IB8	Conjunto de Descanso bronce dañados en lado alimentación y Descarga.	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: medición mensual de cuña hidráulica.	1	Técnico de Mantenimiento mecánico	\$ 82.000	\$ 2.000	\$ 84.000	\$ 84.000
19			IB9	Perdida total del proceso: Fuga de mineral, perdida de hermeticidad de los sellos de pernos de molino.	IB9	Revestimientos del Molino Suelos (alimentación, Cilindro y Tapa)	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Tarea de sustitución y reemplazo programado. Pauta de mantención mensual. Cambio de componentes en mal estado y re torque de pernos.	12	Técnico de Mantenimiento mecánico	\$ 100	\$ 1.500	\$ 1.600	\$ 19.200

20	Sistema Motriz	3- Sistema Motriz Engranaje y Piñón debe transmitir el movimiento desde el motor a la corona a parámetros de vibración bajo los 5 mm/s y con una temperatura diferencial de 10°C.	IC1	Perdida total del proceso: No transmite movimiento a la corona.	IC1	Corte de pernos Base Eje piñón. Exceso de vibraciones, de acuerdo con parámetros normales de operación el molino debe trabajar bajo los 10mm/s. SI esta vibración supera los 15mm/s entra en un grado de emergencia.	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Pauta de inspección Control de tensión pernos Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de ultrasonido	4	Técnico de Monitoreo de condiciones (MONCON)	\$ 25.000	\$ 750	\$ 25.750	\$ 103.000
21			IC2	Perdida total del proceso de transporte de mineral; Pérdida de transmisión al molino, rodamientos dañados.	IC2	Falla de Rodamiento eje piñón. Alta vibración, sobre 5mm/s Alta temperatura, sobre los 80°C	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de Termografía.	12	Técnico de Monitoreo de condiciones (MONCON)	\$ 15.000	\$ 600	\$ 15.600	\$ 187.200
22			IC3	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Perdida de transmisión al molino, fractura de eje	IC3	Fisura en diente eje piñón. Exceso de vibraciones, de acuerdo con parámetros normales de operación el molino debe trabajar bajo los 10mm/s. SI esta vibración supera los 15mm/s entra en un grado de emergencia.	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Pauta de inspección Mensual. Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de ultrasonido. Inspección Phase array. Corte de diente para una operación normal.	4	Técnico de Mantenimiento mecánico, Técnico de Monitoreo de condiciones (MONCON)	\$ 15.000	\$ 750	\$ 15.750	\$ 63.000

23			IC4	Perdida parcial del proceso de transporte de mineral; Perdida de transmisión al molino, fractura de diente.	IC4	Fisura en diente Corona. Exceso de vibraciones, de acuerdo a parámetros normales de operación el molino debe trabajar bajo los 10mm/s. SI esta vibración supera los 15mm/s entra en un grado de emergencia.	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Pauta de inspección Mensual. Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de ultrasonido. Inspección Phase array. Corte de diente para una operación normal. De acuerdo a estrategia, cambio de corona con fisura en 3 dientes en línea	4	Técnico de Mantenimiento mecánico, Técnico de Monitoreo de condiciones (MONCON)	\$ 300.000	\$ 2.000	\$ 302.000	\$ 1.208.000
24			IC5	Perdida total del proceso de transporte de mineral; Perdida de transmisión al molino, resbalamiento de sistema de embrague, alta temperatura. Y perdida de aire clutch.	IC5	Falla embrague. Perdida de presión de aire por diseño bajo 90psi.	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Pauta de inspección Inspección y Análisis de Termografía. Inspección línea neumática y tiempo de embragado;	4	Técnico de Mantenimiento mecánico, Técnico de Monitoreo de condiciones (MONCON)	\$ 25.000	\$ 750	\$ 25.750	\$ 103.000
25			IC6	Perdida parcial del proceso de transporte de mineral; Alta vibración estructural del área de transmisión condiciona la operacional del molino a menor tratamiento.	IC6	Falla de Soleplate. Exceso de vibraciones, de acuerdo con parámetros normales de operación el molino debe trabajar bajo los 10mm/s. SI esta vibración supera los 15mm/s entra en un grado de emergencia.	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Pauta de inspección Inspección y Análisis de ultrasonido. Análisis de vibraciones según pauta Semanal. Re torque de pernos. Cambio de sole plate	4	Técnico de Mantenimiento mecánico, Técnico de Monitoreo de condiciones (MONCON)	\$ 50.000	\$ 600	\$ 50.600	\$ 202.400

26			IC7	Perdida total del proceso de transporte de mineral; Perdida de hermeticidad del embrague.	IC7	Falla válvula Acumulador de Aire. Perdida de presión de aire por diseño bajo 90psi.	Mantenimiento Preventivo; búsqueda de fallos ocultos.	Pauta de inspección y pruebas de hermeticidad.	12	Técnico de Mantenimiento mecánico / Instrumental	\$ 100	\$ 300	\$ 400	\$ 4.800
27			IC8	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Perdida de hermeticidad del embrague.	IC8	Falla de línea de aire embrague. Perdida de presión de aire por diseño bajo 90psi.	Mantenimiento Preventivo; búsqueda de fallos ocultos.	búsqueda de fallos ocultos. Pauta de inspección mensual y pruebas de hermeticidad.	12	Técnico de Mantenimiento mecánico / Instrumental	\$ 100	\$ 150	\$ 250	\$ 3.000
28			IC9	Perdida total del proceso de transporte de mineral; Perdida de hermeticidad del embrague.	IC9	Falla de Rotor Seal. Perdida de presión de aire por diseño bajo 90psi.	Mantenimiento Preventivo; búsqueda de fallos ocultos.	búsqueda de fallos ocultos. Pauta de inspección mensual y pruebas de hermeticidad.	12	Técnico de Mantenimiento mecánico / Instrumental	\$ 100	\$ 150	\$ 250	\$ 3.000
29			IC10	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Alta temperatura en el sistema motriz, Eje piñón y descanso de molino.	IC10	Perdida de aceite por descanso Eje piñón. La temperatura optima del eje piñón como ítems mantenible es de 40°C. Toda operación fuera de ese rango esta generando un daño al activo.	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo: Cambio de líneas de aire por trabo afectado. Planificar en cada detención planta Anual el cambio de líneas de acuerdo a medición de espesores.	4	Técnico de Mantenimiento mecánico	\$ 3.000	\$ 150	\$ 3.150	\$ 12.600

30			ICI	Perdida total del proceso de transporte de mineral; Alta temperatura en el sistema motriz, operación fuera de estándar	ICI	Alta temperatura Eje piñón, sobre 10°C de diferencial. Bajo el estándar de mantenimiento, el equipo debe operar bajo los 10°C.	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tarea en base a condición: Pauta de inspección mensual con equipo detenido. Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de Termografía. Revisar parámetro de alineamiento con frecuencia mensual e inspecciones de carácter semanal de acuerdo a ruta de monitoreo de condiciones.	52	Técnico de Mantenimiento mecánico, Técnico de Monitoreo de condiciones (MONCON)	\$ 50	\$ 750	\$ 800	\$ 41.600
31	Motor eléctrico principal del molino debe proporcionar emovimiento al sistema de transmisión de la corona	4- Proporcionar movimiento al sistema de transmisión del piñón corona a una potencia de 1340kwh y a una temperatura de 60 °C.	ID1	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	ID1	Interruptor de Poder (alimentación Transformador Ciclo-Convertidor) no opera.	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos.	12	Técnico de Mantenimiento Eléctrico.	\$ 10.000	\$ 200	\$ 10.200	\$ 122.400
32			ID2	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	ID2	Interruptor (alimentación Transformador de Excitación) no opera.	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	12	Técnico de Mantenimiento Eléctrico.	\$ 10.000	\$ 200	\$ 10.200	\$ 122.400

33			ID3	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor Eléctrico. Cambio de componentes	ID3	Desconectador alimentación al Transformador de Control no opera correctamente.	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	12	Técnico de Mantenimiento Eléctrico.	\$ 1.000	\$ 200	\$ 1.200	\$ 14.400
34			ID4	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor Eléctrico. Cambio de componentes	ID4	Interruptor de salida del Transformador de Control dañado.	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	12	Técnico de Mantenimiento Eléctrico.	\$ 1.000	\$ 200	\$ 1.200	\$ 14.400
35			ID5	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	ID5	Interruptor de salida del Transformador de Control dañado.	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	12	Técnico de Mantenimiento Eléctrico.	\$ 1.000	\$ 200	\$ 1.200	\$ 14.400
36			ID6	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	ID6	Transformador de Control dañado.	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	12	Técnico de Mantenimiento Eléctrico.	\$ 25.000	\$ 200	\$ 25.200	\$ 302.400
37			ID7	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	ID7	Relé Multifunción (alimentador Transformador Ciclo-Convertidor) opera inadecuadamente.	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	12	Técnico de Mantenimiento Eléctrico.	\$ 10.000	\$ 200	\$ 10.200	\$ 122.400

38			ID8	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	ID8	Cables de Alimentación al motor cortados.	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	12	Técnico de Mantenimiento Eléctrico.	\$ 100	\$ 200	\$ 300	\$ 3.600
39			ID9	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	ID9	Falla estator	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	1	Técnico de Mantenimiento Eléctrico-instrumental	\$ 100.000	\$ 200	\$ 100.200	\$ 100.200
40			ID10	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	ID10	Falla Rotor	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	1	Técnico de Mantenimiento Eléctrico.	\$ 100.000	\$ 200	\$ 100.200	\$ 100.200
41			ID11	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	ID11	Falla Excitador CC	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	1	Técnico de Mantenimiento Eléctrico.	\$ 100.000	\$ 200	\$ 100.200	\$ 100.200
42			ID12	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	ID12	Falla Eje Motor	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	1	Técnico de Mantenimiento Eléctrico.	\$ 300.000	\$ 200	\$ 300.200	\$ 300.200

43	Sistema de lubricación y engrase	5- Sistema de lubricación y Engrase Molino; Proporcionar 1,5 gpm de aceite filtrado a 500 psi y 27°C para enfriar, lubricar y levantar hidrostáticamente los cojinetes del muñón fijo y 1,5 gpm para los cojinetes con almohadilla satelital y 18.14 gpm para los cojinetes del muñón libre.	1 E1	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación en los descansos del molino.	1 E1	No llega aceite a los descansos por contaminación del lubricante.	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	52	Técnico de Mantenimiento Mecánico, tribólogo	\$ 5,000	\$ 250	\$ 5,250	\$ 273,000
44			1 E2	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación en los descansos del molino. Cambio de componente.	1 E2	Falla en Bomba de lubricación, Baja impulsión.	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Cambio de bomba por bajo rendimiento. Cambio de bomba por pérdida de hermeticidad o fuga de sellos.	12	Técnico de Mantenimiento mecánico	\$ 1,500	\$ 150	\$ 1,650	\$ 19,800
45			1 E3	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación en los descansos del molino. Cambio de componente.	1 E3	Falla en Bomba de lubricación, Bomba trancada.	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; Sustitución de componentes. Cambio de bomba.	12	Técnico de Mantenimiento mecánico	\$ 1,500	\$ 150	\$ 1,650	\$ 19,800

46			1 E4	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación y refrigeración en los descansos del molino. Contaminación de aceite con agua. Cambio de componente.	1 E4	Falla en Intercambiador de calor, rotura de tubos de agua.	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Cambio de enfriador por contaminación del sistema de lubricación.	12	Técnico de Mantenimiento mecánico	\$ 5.200	\$ 150	\$ 5.350	\$ 64.200
47			1 E5	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación en los descansos del molino. Saturación de Filtros. Cambio de componente.	1 E5	Falla de filtros de lubricación, filtros obstruidos o rotos.	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Cambio de filtros por diferencial de presión del sistema de bombeo.	12	Técnico de Mantenimiento mecánico	\$ 200	\$ 150	\$ 350	\$ 4.200
48			1 E6	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación en los descansos del molino.	1 E6	Falla de Motor Bomba de lubricación, motor con baja aislación eléctrica.	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Cambio de motor.	12	Técnico de Mantenimiento mecánico	\$ 1.000	\$ 150	\$ 1.150	\$ 13.800

Fuente: Elaboración propia en base a la metodología MCC.

3.6. ANALISIS DEL AHORRO POTENCIAL CON LA IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.

En esta tabla 3-8 se demuestran los costos obtenidos después de la aplicación del MCC en el equipo en cuestión, así podemos dar un valor financiero concreto de la factibilidad de implementación del nuevo plan de mantenimiento.

Tabla 3-8 Indicador de ahorro potencial utilizando RCM

HOJA DE REGISTRO RCM			Sistema: MOLINO BARRAS #1 Equipos y Sistemas principales: 1- Sistema de Transporte Mineral 2- Molino Barras #1 3- Motor Eléctrico 4- Sistema Motriz 5- Sistema de Lubricación y Engrase			ANALISIS ANTES DE LA IMPLEMEMTACION DE RCM		PLAN DE MANTENIMIENTO GENERAL SISTEMA: MOLINO DE BARRAS #1		INDICADOR DE AHORRO POTENCIAL ESPERADO DESPUES DE IMPLANTAR EL RCM						
#	Sistema	#2	Falla Funcional	#3	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año	Riesgo \$USD/año	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia esperada de	TPPR horas2	Imp. Prod. \$/hora	Tiempo Efectivo Horas	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial \$	Ahorro potencial %

1	Sistema de Transporte de mineral	1A1	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminucion	1A1	Corte de cinta Transportadora CT10A	3	\$ 33.000	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Pauta de inspección Semanal Control de desgaste; medición de espesores. En base a los estándares de mantenimiento se deja un límite bajo para el cambio de cinta. Considerando en el plan el cambio 1 vez por año.	1	30	\$0	30	\$ 11.000	-\$ 529.200	33%
2		1A2	Perdida parcial del proceso de transporte de mineral; En condiciones de trabajo pierde capacidad de carga la cinta y comienza a resbalar.	1A2	Desgaste de revestimiento Pulley motriz	1	\$ 5.000	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Pauta de inspección. Control de desgaste; medición de espesores. Considerando en el plan el cambio 1 vez por año.	1	16	\$0	16	\$ 5.000	-\$ 291.200	100%
3		1A3	Perdida parcial del proceso de transporte de mineral; En condiciones de trabajo pierde capacidad de carga la cinta y comienza a resbalar.	1A3	Desgaste de revestimiento pulley de cola	1	\$ 5.000	Mantenimiento Preventivo; Tarea de reacondicionamiento	Tareas en base a condición: Pauta de inspección. Control de desgaste; medición de espesores. Considerando en el plan el cambio 1 vez por año.	1	16	\$0	16	\$ 5.000	-\$ 291.200	100%

4		1A4	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminucion. Alta vibración del sistema, Alta temperatura.	1A4	Falla de rodamiento pulley Motriz	2	\$ 1.500	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de Termografía.	1	12	\$0	12	\$ 750	-\$ 82.450	50%
5		1A5	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminucion. Alta vibración del sistema, Alta temperatura.	1A5	Falla de rodamiento pulley de Cola	2	\$ 1.500	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de Termografía.	1	6	\$0	6	\$ 750	-\$ 82.450	50%
6		1A6	Perdida parcial del proceso de transporte de mineral; Se identifica derrame de mineral a pisos.	1A6	Rotura de Chutes de traspaso	6	\$ 1.800	Mantenimiento Preventivo; Tarea de sustitución y reemplazo programado.	Tarea de sustitución y reemplazo programado: Cambio de revestimiento interiores. Reparación estructural de plancha base. Considerando en el plan el cambio 1 vez por año.	2	6	\$0	12	\$ 600	-\$ 4.200	33%

7		1A7	Perdida parcial del proceso de transporte de mineral; Se identifica derrame de mineral a pisos.	1A7	Rotura de Chutes Alimentación Molino Barras	10	\$ 50.000	Mantenimiento Preventivo; Tarea de sustitución y reemplazo programado.	Tarea de sustitución y reemplazo programado: Cambio de revestimiento interiores. Reparación estructural de plancha base. Considerando en el plan el cambio 1 vez por año.	2	6	\$0	12	\$ 10.000	-\$ 21.200	20%
8		1A8	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminucion. Alta temperatura en polín, desalineamiento de cinta.	1A8	Elementos rodantes (Polines) con desgaste o trancados.	12	\$ 12.000	Mantenimiento Preventivo; Tarea de sustitución y reemplazo programado.	Tarea de sustitución y reemplazo programado: Cambio de polines por pauta mensual.	2	2	\$0	4	\$ 2.000	-\$ 9.200	17%

9		1A9	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminución. Alta vibración del sistema, Alta temperatura, desalineamiento de cinta.	1A9	Falla Caja reductora Sistema motriz	2	\$ 18.000	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de Termografía.	0,5	12	\$0	6	\$ 4.500	-\$ 92.100	25%
10		1A10	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; No se transporta mineral a la alimentación del Molino para el proceso de conminución. Alta vibración del sistema, Alta temperatura, desalineamiento de cinta.	1A10	Falla Motor Eléctrico Cintas transportadoras	2	\$ 20.000	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de Termografía.	0,5	12	\$0	6	\$ 5.000	-\$ 112.200	25%

11	Molino Barras	1B1	Pérdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el revestimiento del Molino.	1B1	Revestimientos con desgaste excesivo	4	\$ 13.200	Mantenimiento Preventivo; Tarea de sustitución y reemplazo programado.	Tarea de sustitución y reemplazo programado. Pauta de mantención mensual. Medición de Espesores Medición por Nube de Puntos Considerando en el plan el cambio 1 vez por año.	2	12	\$0	24	\$ 6.600	\$ 3.300	50%
12		1B2	Pérdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el revestimiento del Molino.	1B2	Corte de Pernos de revestimiento	40	\$ 28.000	Mantenimiento Correctivo; Re-Diseño.	Tarea de sustitución y reemplazo programado. Pauta de mantención mensual. Cambio de pernos en mal estado.	10	6	\$0	60	\$ 7.000	\$ 1.800	25%
13		1B3	Pérdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el sistema motriz del molino.	1B3	Trunnion del Muñón de lado Alimentación con desgaste excesivo	1	\$ 85.000	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de Termografía.	0,3	96	\$0	29	\$ 25.500	-\$ 948.500	30%
14		1B4	Pérdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el sistema motriz del molino.	1B4	Trunnion del muñón de lado descarga con desgaste excesivo. Alta temperatura.	1	\$ 80.000	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de Termografía.	0,3	96	\$0	29	\$ 24.000	-\$ 887.200	30%

15		1B5	Pérdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el sistema motriz del molino. Perdida de aceite del sistema.	1B5	Sello de Caucho (Bunna) de los descansos de molino con desgaste excesivo	1	\$ 700	Mantenimiento Correctivo; Re-Diseño.	Tarea de sustitución y reemplazo programado. Pauta de mantención mensual. Cambio de sellos.	0,3	60	\$0	18	\$ 210	-\$ 2.310	30%
16		1B6	Pérdida Total de proceso de transporte de mineral. No muele mineral por falla mecánica en el sistema estructural del molino	1B6	Pernos de ensamble de estructura de molino sueltos o cortados (Cilindro, tapas y Descansos)	6	\$ 4.200	Mantenimiento Correctivo; Re-Diseño.	Tarea de sustitución y reemplazo programado. Pauta de mantención mensual. Cambio de pernos en mal estado.	0,3	6	\$0	2	\$ 210	-\$ 4.410	5%
17		1B7	Perdida Parcial del proceso: Perdida de mineral por la descarga, sellado ineficiente.	1B7	Elementos de desgaste conjunto chute descarga con desgaste excesivo. (parrillas descarga)	5	\$ 500	Mantenimiento Correctivo; Re-Diseño.	Tarea de sustitución y reemplazo programado. Pauta de mantención mensual. Cambio de componentes en mal estado.	1	4	\$0	4	\$ 100	-\$ 8.000	20%
18		1B8	Perdida Parcial de proceso: Aumento De temperatura por roce de componente, operación fuera de estándar.	1B8	Conjunto de Descanso bronce dañados en lado Alimentación y Descarga.	1	\$ 90.000	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Medición mensual de cuña Hidráulica.	0,3	96	\$0	29	\$ 27.000	-\$ 21.000	30%

19		1B9	Pérdida total del proceso: Fuga de mineral, pérdida de hermeticidad de los sellos de pernos de molino.	1B9	Revestimientos del Molino Suelos (Alimentación, Cilindro y Tapa)	10	\$ 1.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Tarea de sustitución y reemplazo programado. Pauta de mantención mensual. Cambio de componentes en mal estado y Re-torque de pernos.	5	4	\$0	20	\$ 500	-\$ 18.700	50%
20	Sistema Motriz	1C1	Pérdida total del proceso: No transmite movimiento a la corona.	1C1	Corte de pernos Base Eje piñón. Exceso de vibraciones, de acuerdo con parámetros normales de operación el molino debe trabajar bajo los 10mm/s. Si esta vibración supera los 15mm/s entra en un grado de emergencia.	1	\$ 25.000	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Pauta de inspección Control de tensión pernos Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de ultrasonido	0,3	12	\$0	4	\$ 7.500	-\$ 85.500	30%
21		1C2	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Pérdida de transmisión al molino, rodamientos dañados.	1C2	Falla de Rodamiento eje Piñón. Alta vibración, sobre 5mm/s Alta temperatura, sobre los 80°C	2	\$ 30.000	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tareas en base a condición: Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de Termografía.	1	16	\$0	16	\$ 15.000	-\$ 172.200	50%

22		1C3	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Perdida de transmisión al molino, fractura de eje	1C3	Fisura en diente eje Piñón. Exceso de vibraciones, de acuerdo a parámetros normales de operación el molino debe trabajar bajo los 10mm/s. SI esta vibración supera los 15mm/s entra en un grado de emergencia.	1	\$ 15.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Pauta de inspección Mensual. Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de ultrasonido. Inspección Phase array. Corte de diente para una operación normal.	1	16	\$0	16	\$ 15.000	-\$ 63.000	100%
23		1C4	Perdida parcial del proceso de transporte de mineral; Perdida de transmisión al molino, fractura de diente.	1C4	Fisura en diente Corona. Exceso de vibraciones, de acuerdo con parámetros normales de operación el molino debe trabajar bajo los 10mm/s. SI esta vibración supera los 15mm/s entra en un grado de emergencia.	1	\$ 10.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Pauta de inspección Mensual. Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de ultrasonido. Inspección Phase array. Corte de diente para una operación normal. De acuerdo con estrategia, cambio de corona con fisura en 3 dientes en línea	0,3	24	\$0	7	\$ 3.000	-\$ 1.201.000	30%

24		1C5	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Pérdida de transmisión al molino, resbalamiento de sistema de embrague, alta temperatura. Y pérdida de aire clutch.	1C5	Falla embrague. Pérdida de presión de aire por diseño bajo 90psi.	3	\$ 96.000	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Pauta de inspección Inspección y Análisis de Termografía. Inspección línea neumática y tiempo de embragado;	1	12	\$0	12	\$ 32.000	-\$ 39.000	33%
25		1C6	Pérdida parcial del proceso de transporte de mineral; Alta vibración estructural del área de transmisión, condiciona la operación del molino a menor tratamiento.	1C6	Falla de Soleplate. Exceso de vibraciones, de acuerdo con parámetros normales de operación el molino debe trabajar bajo los 10mm/s. SI esta vibración supera los 15mm/s entra en un grado de emergencia.	1	\$ 1.000	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Pauta de inspección. Inspección y Análisis de ultrasonido. Análisis de vibraciones según pauta Semanal. Re-torque de pernos. Cambio de sold plate	0,3	24	\$0	7	\$ 15.000	-\$ 216.400	1500%
26		1C7	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Pérdida de hermeticidad del embrague.	1C7	Falla válvula Acumulador de Aire. Pérdida de presión de aire por diseño bajo 90psi.	2	\$ 200	Mantenimiento Preventivo; Búsqueda de fallos ocultos.	Pauta de inspección y pruebas de hermeticidad.	1	6	\$0	6	\$ 100	-\$ 4.700	50%

27		1C8	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Perdida de hermeticidad del embrague.	1C8	Falla de línea de aire embrague. Perdida de presión de aire por diseño bajo 90psi.	4	\$ 400	Mantenimiento Preventivo; Búsqueda de fallos ocultos.	Búsqueda de fallos ocultos. Pauta de inspección mensual y pruebas de hermeticidad.	1	6	\$0	6	\$ 100	-\$ 2.700	25%
28		1C9	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Perdida de hermeticidad del embrague.	1C9	Falla de Rotor Seal. Perdida de presión de aire por diseño bajo 90psi.	4	\$ 400	Mantenimiento Preventivo; Búsqueda de fallos ocultos.	Búsqueda de fallos ocultos. Pauta de inspección mensual y pruebas de hermeticidad.	2	4	\$0	8	\$ 200	-\$ 2.800	50%
29		1C10	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Alta temperatura en el sistema motriz, Eje piñón y descanso de molino.	1C10	Perdida de aceite por descanso Eje piñón. La temperatura optima del eje piñón como ítems mantenible es de 40°C. Toda operación fuera de ese rango esta generando un daño al activo.	2	\$ 6.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo: Cambio de líneas de aire por trabo afectado. Planificar en cada detención planta Anual el cambio de líneas de acuerdo con medición de espesores.	1	16	\$0	16	\$ 3.000	-\$ 9.600	50%

30		1C1 1	Pérdida total del proceso de transporte de mineral; Alta temperatura en el sistema motriz, operación fuera de estándar	1C1 1	Alta temperatura Eje piñón, sobre 10°C de diferencial. Bajo el estándar de mantenimiento, el equipo debe operar bajo los 10°C.	8	4.800 \$	Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	Tarea en base a condición: Pauta de inspección mensual con equipo detenido. Monitoreo y Análisis de Vibraciones. Inspección y Análisis de Termografía. Revisar parámetro de alineamiento con frecuencia mensual e inspecciones de carácter semanal de acuerdo a ruta de monitoreo de condiciones.	4	6	\$0	24	2.400 \$	39.200 -\$	50%
31	Motor eléctrico principal del molino debe proporcionar el movimiento al sistema de transmisión de la corona	1D1	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	1D1 1	Interruptor de Poder (alimentación Transformador Ciclo-Convertidor) no opera.	1	10.000 \$	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; Sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos.	1	6	\$0	6	10.000 \$	122.400 -\$	100%

32		1D2	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	1D 2	Interruptor (alimentación Transformador de Excitación) no opera.	1	\$ 10.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; Sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	1	6	\$0	6	\$ 10.000	-\$ 122.400	100%
33		1D3	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	1D 3	Desconectador alimentación al Transformador de Control no opera correctamente.	1	\$ 1.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; Sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	1	6	\$0	6	\$ 1.000	-\$ 14.400	100%
34		1D4	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	1D 4	Interruptor de salida del Transformador de Control dañado.	1	\$ 1.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; Sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	1	6	\$0	6	\$ 1.000	-\$ 14.400	100%
35		1D5	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	1D 5	Interruptor de salida del Transformador de Control dañado.	1	\$ 1.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; Sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	1	6	\$0	6	\$ 1.000	-\$ 14.400	100%

36		1D6	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	1D 6	Transformador de Control dañado.	1	\$ 25.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; Sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	1	6	\$0	6	\$ 25.000	-\$ 302.400	100%
37		1D7	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	1D 7	Relé Multifunción (alimentador Transformador Ciclo-Convertidor) opera inadecuadamente.	1	\$ 10.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	1	2	\$0	2	\$ 10.000	-\$ 122.400	100%
38		1D8	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	1D 8	Cables de Alimentación al motor cortados.	1	\$ 100	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	0,5	12	\$0	6	\$ 50	-\$ 3.550	50%
39		1D9	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	1D 9	Falla estator	1	\$ 100.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	0,1	120	\$0	12	\$ 10.000	-\$ 10.200	10%

40		1D1 0	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	1D 10	Falla Rotor	1	\$ 100.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	0,1	120	\$0	12	\$ 10.000	-\$ 10.200	10%
41		1D1 1	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	1D 11	Falla Excitador CC	1	\$ 100.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	0,1	60	\$0	6	\$ 10.000	-\$ 10.200	10%
42		1D1 2	Pérdida total del proceso. No muele mineral por falla en Motor eléctrico. Cambio de componentes	1D 12	Falla Eje Motor	1	\$ 320.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	0,1	60	\$0	6	\$ 32.000	-\$ 12.200	10%
43	Sistema de lubricación y engrase	1 E1	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación en los descansos del molino.	1 E1	No llega aceite a los descansos por contaminación del lubricante.	8	\$ 24.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Pauta de inspección mensual, mediciones eléctricas y pruebas de equipos. Limpieza de componentes.	2	12	\$0	24	\$ 6.000	-\$ 255.000	25%

44		1 E2	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación en los descansos del molino. Cambio de componente.	1 E2	Falla en Bomba de lubricación, Baja impulsión.	6	\$ 12.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Cambio de bomba por bajo rendimiento. Cambio de bomba por perdida de hermeticidad o fuga de sellos.	2	6	\$0	12	\$ 4.000	-\$ 11.800	33%
45		1 E3	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación en los descansos del molino. Cambio de componente.	1 E3	Falla en Bomba de lubricación, Bomba trancada.	6	\$ 12.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Cambio de bomba.	2	6	\$0	12	\$ 4.000	-\$ 11.800	33%
46		1 E4	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación y refrigeración en los descansos del molino. contaminación de aceite con agua. Cambio de componente.	1 E4	Falla en Intercambiador de calor, rotura de tubos de agua.	2	\$ 12.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; sustitución de componentes. Cambio de enfriador por contaminación del sistema de lubricación.	1	6	\$0	6	\$ 6.000	-\$ 58.200	50%
47		1 E5	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación en los descansos del molino. Saturación de Filtros. Cambio de componente.	1 E5	Falla de filtros de lubricación, filtros obstruidos o rotos.	10	\$ 8.000	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; Sustitución de componentes. Cambio de filtros por diferencial de presión del sistema de bombeo.	3	2	\$0	6	\$ 2.400	\$ 1.400	30%

48		1 E6	Pérdida total del proceso: Falta de lubricación en los descansos del molino.	1 E6	Falla de Motor Bomba de lubricación, motor con baja aislación eléctrica.	6	6.000 \$	Mantenimiento Correctivo; No programado.	Mantenimiento Correctivo; Sustitución de componentes. Cambio de motor.	2	6	\$0	12	2.000 \$	9.800 -\$	33%
----	--	------	--	------	--	---	----------	--	--	---	---	-----	----	----------	-----------	-----

Fuente: Elaboración propia en base a la aplicación del MCC.

3.7. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ANUAL DEL MOLINO BARRAS BAJO EL PLAN DE PRODUCCION DE CODELCO ANDINA

De acuerdo con esta metodología impulsamos un árbol lógico de decisión para la gestión del activo que se conecta con nuestro nuevo plan de mantenimiento, este plan lo ejecutamos de carácter anual que va en línea con nuestro negocio de producción de cobre de Codelco Andina. Este se encuentra bajo el estándar de presentación del programa de actividades de mantenimiento de la división.

Tabla 3-9: Plan de Mantenimiento Anual Molienda Convencional

PLAN/PROGRAMA MANTENIMIENTO DE MOLINO DE BARRAS																
PLAN DE MANTENIMIENTO	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA DEL PLAN	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Disponibilidad P0 2025	OBSERVACIONES
			Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad		

					96,67%	96,67%	96,67%	83,33%	96,67%	96,67%	96,67%	96,67%	83,33%	96,67%	96,67%	94,44%	
ITEMS					24	24	24	120	24	24	24	24	24	120	24		24
Manteni- ble	MOLINO BARRAS #1																
1	Cambio de revestimiento	PREVENTIVO	Anual				X										Pauta de Mantenimiento Anual
2	Cambio de Anillo tromell	PREVENTIVO	Anual				X										Pauta de Mantenimiento Anual
3	Cambio de Tromell	PREVENTIVO	Anual				X										Pauta de Mantenimiento Anual
4	Cambio de Trunnion alimentación	PREVENTIVO	Condición										X				Inspecciones Mensuales, medición de espesores
5	Cambio de Trunnion Descarga	PREVENTIVO	Condición										X				Inspecciones Mensuales, medición de espesores
6	Cambio de Descanso Trunnion alimentación	PREVENTIVO	Condición										X				Inspecciones Mensuales, medición de espesores
7	Cambio de Descanso Trunnion Descarga	PREVENTIVO	Condición										X				Inspecciones Mensuales, medición de espesores
8	Aprete de pernos revestimiento	PREVENTIVO	Condición	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X		Inspecciones Mensuales, Torque de pernos
SISTEMA DE ALIMENTACION DE MINERAL MOLINO BARRAS #1																	
9	Cambio de Chute Alimentación	PREVENTIVO	Anual										X				Pauta de Mantenimiento

[illegible]

22	Cambio de Correa transportadora 9C	REACTIVO	Condición													Cambio por condición.
23	Inspección de Cajas reductoras	PREVENTIVO	Mensual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Inspección de Monitoreo de Condiciones y Tribología.
24	Cambio de Caja reductora Correa transportadora 10A	REACTIVO	Condición													Inspecciones Mensuales
25	Cambio de Caja reductora Correa transportadora 9B	REACTIVO	Condición													Inspecciones Mensuales
26	Cambio de Caja reductora Correa transportadora 9C	REACTIVO	Condición													Inspecciones Mensuales
Mantencion Correa 10A																
27	Cambio de polines	PREVENTIVO	Mensual	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	Pauta de Mantenimiento
28	Ajuste de raspador primario	PREVENTIVO	Mensual	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	Pauta de Mantenimiento
29	Cambio de raspador primario	PREVENTIVO	Mensual				X						X			Pauta de Mantenimiento
Mantencion correa 9B																
30	Cambio de polines	PREVENTIVO	Mensual	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	Pauta de Mantenimiento
31	Ajuste de raspador primario	PREVENTIVO	Mensual	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	Pauta de Mantenimiento
32	Cambio de raspador primario	PREVENTIVO	Mensual				X						X			Pauta de Mantenimiento
Mantencion correa 9C																

[illegible]

57	Cambio de Motor reductora Correa transportadora 9C	REACTIVO	Condición	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Inspecciones Mensuales
58	Mantención de Motor Molino Barras #1	PREVENTIVO	Mensual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Pauta de Mantenimiento
59	Mantención Motor transportadora 10A	PREVENTIVO	Mensual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Pauta de Mantenimiento
60	Mantención Motor transportadora 9B	PREVENTIVO	Mensual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Pauta de Mantenimiento
61	Mantención Motor transportadora 9C	PREVENTIVO	Mensual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Pauta de Mantenimiento
62	Mantención Motor reductora Correa transportadora 10A	PREVENTIVO	Mensual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Pauta de Mantenimiento
63	Mantención Motor reductora Correa transportadora 9B	PREVENTIVO	Mensual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Pauta de Mantenimiento
64	Mantención Motor reductora Correa transportadora 9C	PREVENTIVO	Mensual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Pauta de Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia en base a la metodología MCC.

La estrategia de mantenimiento logra tener resultados positivos para el proceso productivo y para la gestión de mantenimiento, si lo comparamos con las disponibilidades de años anteriores logramos captar 94,44% de disponibilidad en base a utilización en el año. Si lo comparamos con los años anteriores (Ver Anexo #3), mejoramos en 3,84% la disponibilidad del año 2024. Este plan de mantenimiento establece un plan matriz de detenciones anuales que logra satisfacer las oportunidades del negocio que busca Codelco en su etapa de transformación, que es lograr 1.000.000 de Toneladas de cobre fino al año 2040.

3.8. RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS Y MEJORAS DEL PLAN PROPUESTO.

A continuación, se presenta la tabla 3-10 que es resumen de los resultados obtenidos del análisis aplicado en la metodología MCC.

3.8.1. Parámetros evaluados del plan de mantenimiento y FMECA.

En la siguiente tabla se identifican los parámetros evaluados del FMECA, lo que demuestra los eventos identificados en el análisis realizado.

Tabla 3-10 Parámetros evaluados y eventos identificados

Parámetro Evaluado	Eventos Identificados
Funciones	5
Fallas Funcionales	48
Modos de Fallas	48
Modos de Fallas Evidentes	36
Modos de Fallas NO Evidentes	12
Modos de Fallas que SI afectan la Seguridad o Medio Ambiente	0
Modos de Fallas que NO afectan la Seguridad o Medio Ambiente	48

Fuente: Datos del análisis FMECA de elaboración propia

3.8.2. Costos de implementación plan de mantenimiento

Una vez expuestos los costos actuales en la tabla 3-11, relacionados a la operación y mantención de los equipos de la planta, estos serán contrastados con los datos propuestos en base a la implementación del RCM, con todas las actividades de mantenimiento estimadas de acuerdo al árbol lógico de la estrategia de mantenimiento, considerando sus frecuencias, tiempos de reparación y por sobre todo los costos que esto conlleva para futuro, con la finalidad de entregar claridad del ahorro potencial que se va a obtener.

Tabla 3-11 Actividades de mantenimiento, tiempo efectivo y costos de plan anual

ACTIVIDADES	Nro. Actividades de MTTO.	Tiempo Efectivo (horas)	Costos Plan Anual MTTO. (USD/año)
Mantenimiento Preventivo; Tarea en base a condición.	14	237	31.964.200
Mantenimiento Preventivo; Tarea de reacondicionamiento	1	12	1.613.000
Mantenimiento Preventivo; Tarea de sustitución y reemplazo programado.	4	80	10.741.200
Mantenimiento Preventivo; Búsqueda de fallos ocultos.	3	16	\$2.114.400
Mantenimiento Correctivo; Re-Diseño.	4	113	\$15.116.420
Mantenimiento Correctivo; No programado.	22	225	\$30.312.950
TOTALES	48	683	\$91.862.170

Fuente: Elaboración propia basado en la metodología MCC.

Con esta implementación se reducen en un 34% las frecuencias de fallas por año en nuestros equipos críticos evaluados. De 189 eventos de falla que tenemos en un año, llegamos a tener 64 eventos ya aplicada la metodología MCC.

Con la finalidad de materializar lo planteado en este trabajo se ilustrará por medio de una tabla 3-12, un resumen los resultados obtenidos de la propuesta, analizando si los objetivos planteados al inicio cumplen con las expectativas y agregan valor dentro del ciclo de mantenimiento en la organización.

Tabla 3-12 Resultados obtenidos

N°	AREA IMPACTO	MEJORA	RESULTADO
1	Confiabilidad	Jerarquización de equipos	Focalización de equipos con mayor impacto en el proceso.
3	Planificación	Plan detención de planta.	Separación de detenciones planta optimizando recursos sin afectar la producción establecida
4	Planificación	Estrategias de mantenimiento	Definición de estrategias de mantenimiento en base a los requerimientos de la planta.
5	Gerencia de Mantenimiento	KPI Disponibilidad	Aumento de 3,84% de disponibilidad de los activos 90,60% V/S 94,44%
6	Gerencia de Mantenimiento.	Ahorro potencial	Baja en los costos en un 66,94%

Fuente: Elaboración propia mediante datos analizados en base a flujograma de decisión MCC y costos asociados en operación mantención.

Al evaluar la cantidad fallas y modos de falla posibles en la Hoja de registro del MCC, se logra analizar la información presentada en los datos de la tabla 3-13 presentando el costo de indisponibilidad o riesgo anual, costo total del plan que se está proponiendo como mejora y obteniendo un nuevo valor asociado al riesgo futuro esperado y un ahorro potencial.

Tabla 3-13 Costos totales de implementación y ahorro potencial

Costo de Indisponibilidad o Riesgo Anual (USD/año)	269.927.300
Costo Plan Anual de Mantenimiento (USD/año)	7.358.700
CIF o Riesgo Futuro Esperado (USD/año)	81.872.270
Ahorro Potencial (USD/año)	180.696.330
% Ahorro Potencial total	66,94%

Fuente: Elaboración propia basado en los resultados del nuevo plan de mantenimiento propuesto.

En la tabla 3-14 podemos identificar cual es el impacto de ganar disponibilidad en nuestra gestión de activos. Como se pude ver si nosotros aumentamos la disponibilidad de la molienda, que apunta a ser un 3,84% y a 932Ton Cu. Si lo comparamos con algún dato especifico de la planta, estamos hablando que nuestro ahorro potencial en términos de dinero equivale al presupuesto de mantenimiento del año 2024 de la molienda convencional completa.

Tabla 3-14 Producción de Cobre fino vs Disponibilidad teórica

Hrs/Año	TMS 450 Ton	Cu Fino	US\$/Ton	Disponibilidad	
8640	3888000	22.317	\$ 197.450.719	98,60%	Disp Mensual Max
8640	3876170	22.249	\$ 196.849.956	98,30%	L. técnico
8640	3723963	21.376	\$ 189.120.141	94,44%	Aspiración 2025
8640	3561674	20.444	\$ 180.878.357	90,60%	Real 2024
8640	3308510	18.991	\$ 168.021.545	87,60%	Real 2023

Δ932Ton Cuf

\$8.241.784US\$

\$8.324.201.557CLP\$

COCHILCO – Comisión Chilena
del Cobre

US\$ 8.847,5 la tonelada

Fuente: Elaboración propia en base a los valores actuales del precio del cobre y el plan de mantenimiento desarrollado.

3.8.3. Cumplimiento de objetivos

Para finalizar se realizará revisión de los objetivos planteados y su cumplimiento con la finalidad de revisar la efectividad de las acciones y metodología planteada, para ello se mencionará que en el inicio de este trabajo se planteó como objetivos.

3.8.3.1. Objetivo General

Optimizar los planes de mantenimiento a la realidad de la planta ejecutando el mantenimiento centrado en confiabilidad. Este objetivo se cumple considerando que se realizó a través de la metodología establecida y los planes de mantenimiento se ordenaron haciéndolos concordantes con la realidad del proceso.

3.8.3.2. Objetivos Específicos

Al Desarrollar el procedimiento de la metodología MCC describimos y establecemos la jerarquización de los equipos de la planta para generar una herramienta que permita ayudar en la priorización de activos y actividades de mantenimiento. Este objetivo se cumple ya que apoyado en lo establecido en el sistema operativo de mantenimiento se logra efectuar este proceso de jerarquización para el apoyo de la matriz 5x5 de criticidad y eso hizo que al trabajar en los activos que tienen un mayor impacto en el proceso tengan un plan de mantenimiento establecido de manera preventiva.

Actualizar las frecuencias y pautas de mantención necesarias para la correcta ejecución de mantenimiento definido en base a lo establecido en los análisis según RCM. Este objetivo se cumple ya que basado en mantenimiento centrado en confiabilidad y apoyado en técnicas de FMECA se realiza un análisis del sistema y componentes principales con la finalidad de obtener los modos de falla que deben ser abordados con las pautas de mantenimiento como medida de mitigación.

Establecer estrategias de mantenimiento optimizadas en base a indicadores de resultados, en todos los aspectos este plan cumple con este objetivo, ya que los valores de disponibilidad y producción aumenten y los costos de indisponibilidad disminuyan haciendo que el resultado final sea es esperado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La metodología planteada permite a través de herramientas de confiabilidad y gestión de activos apoyar la mejora y el estudio de los planes de mantenimiento del área, esta permite verificar que las fallas han sido gestionadas por los planes tanto Matrices como en la priorización de planes mensuales.

La metodología permite corregir frecuencias, que si bien, estaban establecidas en la realidad, pueden ser modificadas dejando parámetros de Horas personas establecidas para la ejecución de los planes matrices, más las tareas que salen de los avisos de inspecciones establecidas en los planes semanales, logrando captar el mantenimiento preventivo como primera política de nuestro mantenimiento.

Todo este proyecto tiene como iniciativa actualizar los planes matrices de la molienda convencional utilizando la herramienta MCC, y esto conlleva como parte del objetivo del SOMA y la propuesta del MCC en que todas las actividades de mantenimiento quedaran cargadas con sus respectivas ordenes de mantenimiento y operaciones en SAP como parte del plan matriz, con eso logramos establecer actualizar las tácticas de mantenimiento asociada a cada modo de falla presentado en el MCC y en la molienda convencional.

Luego de establecer un análisis FMECA, el cual entregó la estructura necesaria para atacar puntos críticos en las fallas potenciales, y que estas no generen un impacto correctivo a la hora de operar, logramos desarrollar como esta entrega genera valor al mantenimiento, ya que no se contaba con una herramienta que jerarquice los modos de falla del presente equipo, entregando una guía para posteriores análisis del área de mantenimiento y los otros equipos de la división.

Una de la cosa más importante de este negocio es maximizar los recursos del país para transformarlos en excedentes y esta meta como organización se logra implementando esta metodología, esto nos da una satisfacción en como la gestión de activo y el mantenimiento centrado en confiabilidad se presenta como una solución para el desarrollo del país.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN

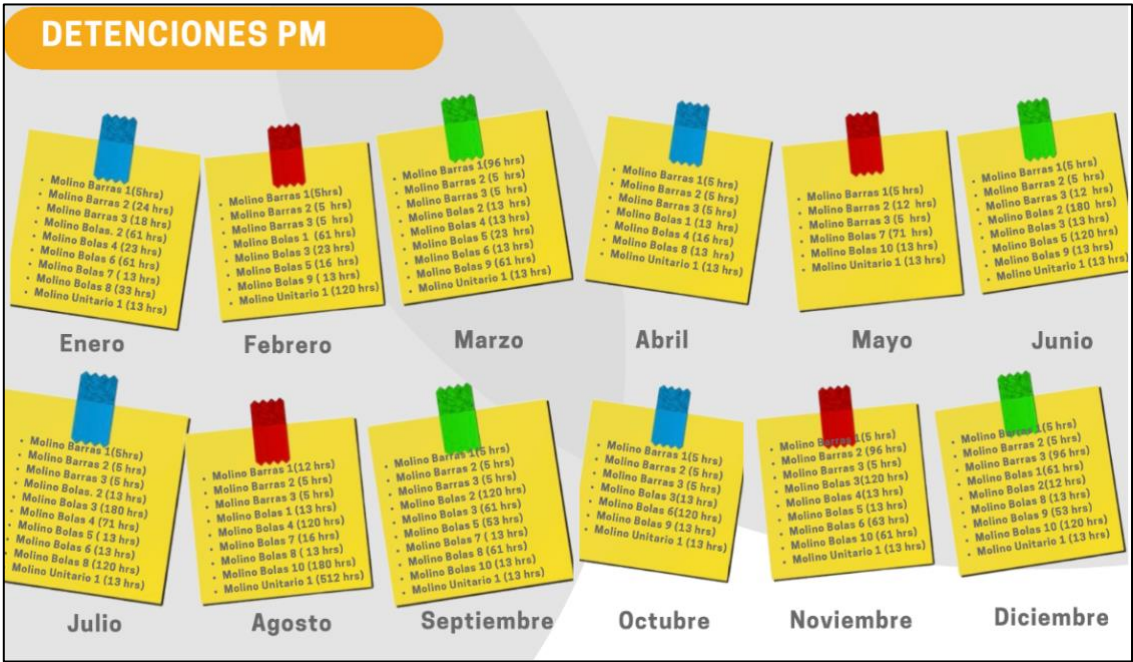
- [1] Libro Parra Crespo V20 2017, Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos, Capitulo VII.
- [2] Corporación Nacional del Cobre, Chile (CODELCO), La Corporación. Página www.codelco.com.
- [3] A. Arata, R. Stegmaier, Apuntes de Ingeniería de Plantas Industriales, Valparaíso, Universidad Técnica Federico Santa María, 1999.
- [4] Corporación Nacional del Cobre, Chile (CODELCO), Norma Corporativa de Mantenibilidad y Confiabilidad en Proyectos de Inversión - NCC30, Santiago Chile, 2011
- [5] Corporación Nacional del Cobre, Chile (CODELCO), Sistema Operativo de Mantenimiento, Santiago Chile, 2017
- [6] Cuadro de Mando Integral e Indicadores básicos de la Gestión del Mantenimiento, Autores: Carlos Parra Márquez & Adolfo Crespo Márquez. Enero 2020
- [7] Aplicación piloto de la metodología mantenimiento centrado en fiabilidad/MCF en el sistema de generación eléctrica: “Motor ISOTTA V1312 ME 1800”. Sevilla 2008.
- [8] Libro SOMA, Codelco Andina 2024

ANEXOS

ANEXO 1: PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL 2024

EQUIPOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PARADA GENERAL DE PLANTA				132						120		
CHANCADO PRIMARIO	16	100	16	16	16	16	60	16	16	60	16	16
MOLINO SAG	16	100	16	175	16	16	100	16	16	175	16	16
MOLINO UNITARIO N°2	16	100	16	144	16	16	60	16	16	120	16	16
MOLINO BOLAS 1 - SAG	36	96					96					
MOLINO BOLAS 2 - SAG		96					96					
MOLINO DE BARRAS # 1	5	5	96	5	5	5	5	12	5	5	5	5
MOLINO DE BARRAS # 2	24	5	5	5	12	5	5	5	5	5	96	5
MOLINO DE BARRAS # 3	18	5	5	5	5	12	5	5	5	5	5	96
MOLINO DE BOLAS # 1		61		13				13				61
MOLINO DE BOLAS # 2	61		13			180	13		120		53	12
MOLINO DE BOLAS # 3		13				13	180		61	13	120	
MOLINO DE BOLAS # 4	23		13	16			71	120			13	
MOLINO DE BOLAS # 5		16	23			120	13		53		13	
MOLINO DE BOLAS # 6	61		13				13			120	63	
MOLINO DE BOLAS # 7	13				71			16	13			
MOLINO DE BOLAS # 8	33			13			120	13	61			13
MOLINO DE BOLAS # 9		13	61			13				13		53
MOLINO DE BOLAS # 10					13			180	13		61	120
MOLINO UNITARIO N°1	13	120	13	13	13	13	13	512	13	13	13	13
Molino Vertimill VTM#1				120						70		
Molino Vertimill VTM#2		70					70			70		
Assessment Celdas Flotación SCAVENGER		96										
Assessment Celdas Flotación ROUGHER OK100				132			96			120		

ANEXO 2: RESUMEN DETENCIONES MOLIENTA CONVENCIONAL 2025



ANEXO 3: RESULTADOS DE DISPONIBILIDAD 2022V/S 2023

Molienda Convencional 2022		
Mes	Disponibilidad Real	Disponibilidad P0
Enero 2022	92,0%	93,0%
Febrero 2022	84,3%	96,7%
Marzo 2022	94,7%	96,3%
Abril 2022	88,1%	96,8%
Mayo 2022	88,0%	67,6%
Junio 2022	88,9%	97,1%
Julio 2022	91,6%	96,6%
Agosto 2022	87,6%	96,9%
Septiembre 2022	92,1%	92,0%
Octubre 2022	64,3%	88,0%
Noviembre 2022	72,1%	96,6%
Diciembre 2022	83,8%	97,1%

Molienda Convencional 2023		
Mes	Disponibilidad Real	Disponibilidad P0
Enero 2023	90,5%	89,7%
Febrero2023	88,7%	93,2%
Marzo 2023	86,2%	93,2%
Abril 2023	80,4%	93,6%
Mayo 2023	94,5%	90,4%
Junio 2023	91,5%	93,4%
Julio 2023	91,9%	93,3%
Agosto 2023	93,2%	93,2%
Septiembre 2023	91,8%	88,3%
Octubre 2023	93,5%	94,0%
Noviembre 2023	95,5%	93,3%
Diciembre 2023	91,2%	93,4%

Resultados 2022.

Año 2022	Meta P0	Δ
85,6%	92,9%	- 7,3%

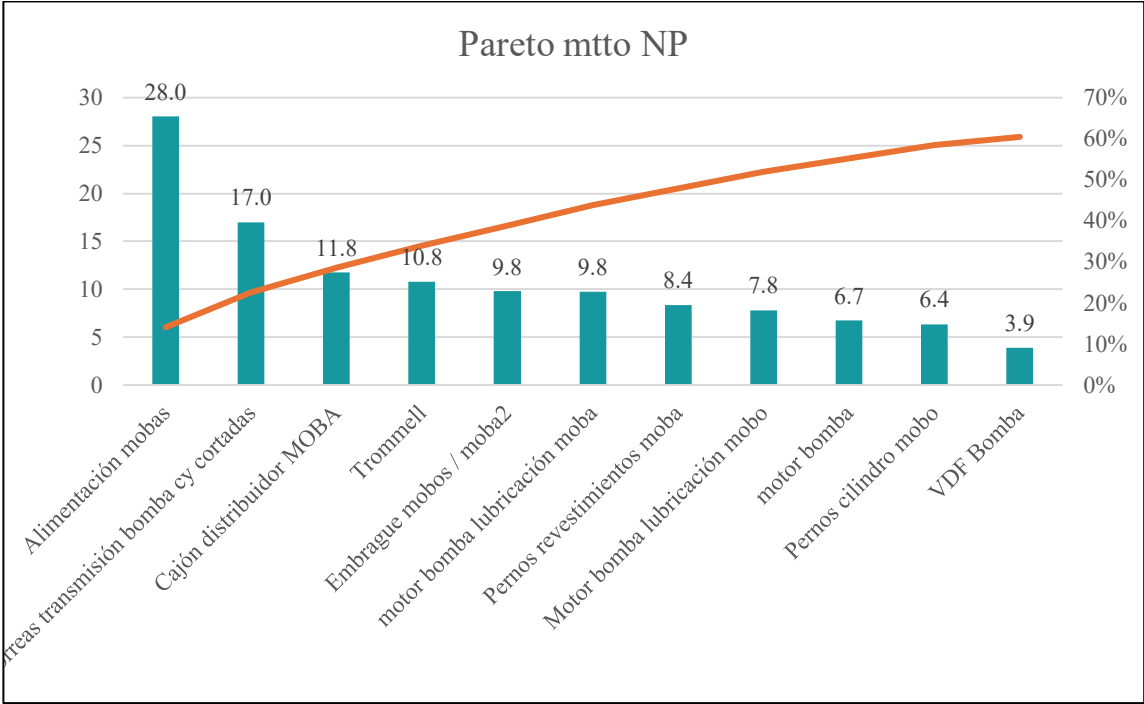
Resultados 2023.

Año 2023	Meta P0	Δ
87,6%	90,4%	-2.8%

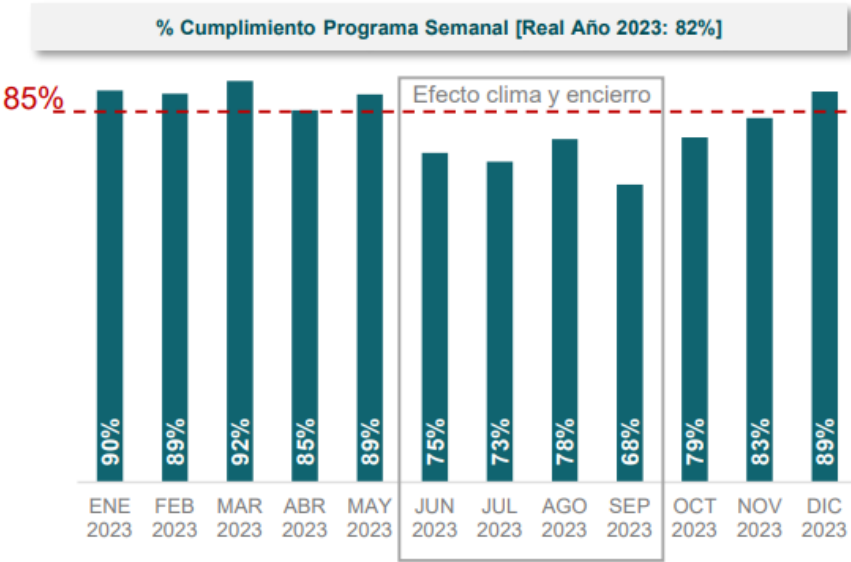
Resultados 2024.

Año 2024	Meta P0	Δ
90,6%	94,0%	-3.4%

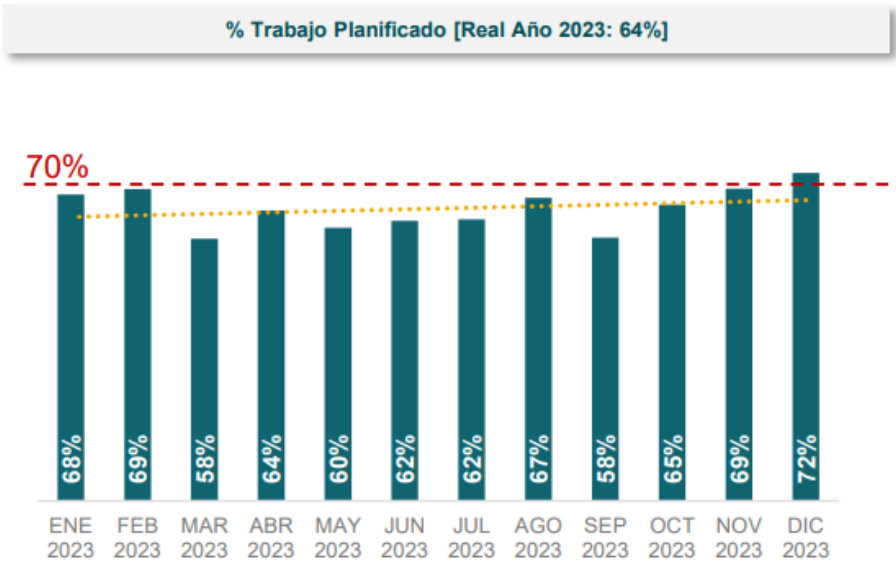
ANEXO 4: PARETO DE FALLAS MOLIENDA CONVENCIONAL 2024



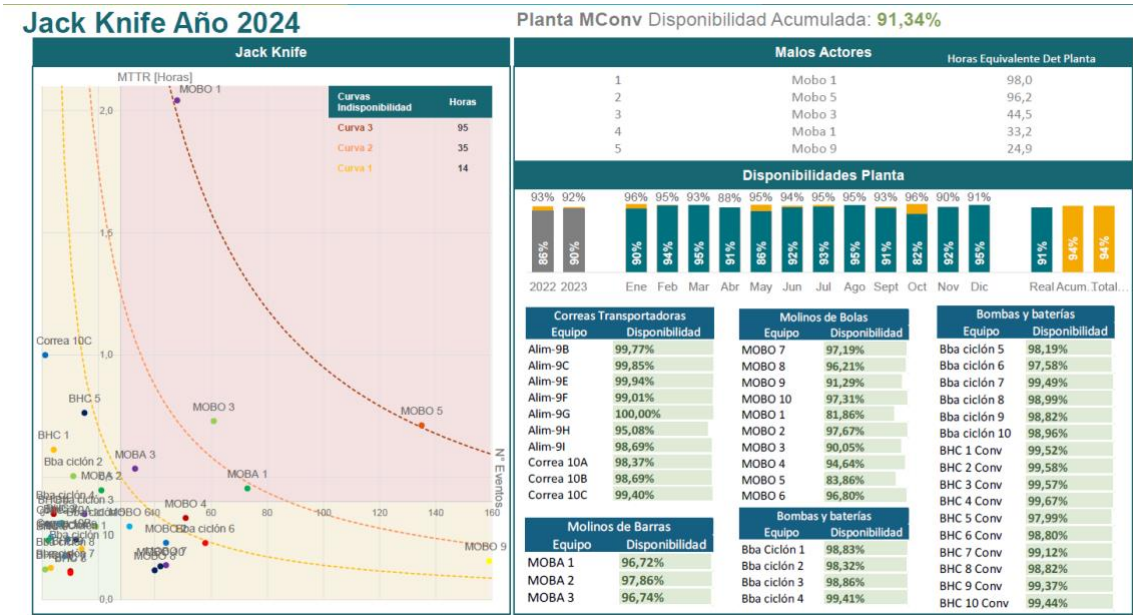
ANEXO 5: CUMPLIMIENTO DEL PROGRAMA SEMANAL MOLIENDA CONVENCIONAL 2023



ANEXO 6: INFORME CUMPLIMIENTO DEL TRABAJO PLANIFICADO
MOLIENDA CONVENCIONAL 2023



ANEXO 7: INFORME DE CONFIABILIDAD 2024



ANEXO 8: INFORME DE CUMPLIMIENTO KPI MOLIENDA CONVENCIOAL 2024

