

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

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL PLAN MATRIZ DE
MANTENIMIENTO ELÉCTRICO DEL ÁREA SECA EN LA MINERA NORTE**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Ingeniero de Ejecución en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:

Sr. José Castro Mardones

Profesor Guía:

Mg. Ing. Félix Pizarro Martínez

2021

RESUMEN

Palabras Claves: MEJORAS, PLAN MATRIZ, MANTENIMIENTO ELÉCTRICO, ÁREA SECA, MINERA NORTE, CAUSA- RAÍZ

La investigación se orienta a proponer mejoras al plan matriz de mantenimiento eléctrico del Área Seca en la Minera Norte, mediante la realización de un análisis Causa-Raíz para la selección de propuestas de optimización en las tareas de mantenimiento a través de la recopilación de los antecedentes generales de los equipos eléctricos del Área Seca para la selección de los componentes críticos, mediante la utilización del Diagrama Jack Knife, a fin de determinar las prioridades dentro de las tareas de mantenimiento, la explicación a través de un Diagrama SIPOC los límites, el punto de inicio y final del proceso de mantenimiento a mejorar, mediante el análisis Causa- Raíz visualizando los impactos que provocan en el funcionamiento de los equipos eléctricos y el desarrollo de una propuesta de mejoras al plan matriz de mantenimiento eléctrico del Área Seca en la Minera Norte. Las fallas frecuentemente observadas que causan las paradas de planta están caracterizadas por fallas por diferencia de tensión, fallas de transformadores, activación espontanea de tilt switch chute traspaso, por señal errónea til switch descarga cv153, activación no real de tilt switch, activación de sensor corte correa tipo bandeja, falla en tarjeta procesador de señal DCS, falla en ups transferencia # 1. Se recomienda realizar un análisis y discusión en el área de operaciones mina para consensuar la disminución en los tiempos de detención por fallas provocadas por cambio de turno, equipo de carguío, mineral con sobre tamaño, mineral fino

ABSTRACT

Keywords: IMPROVEMENTS, MASTER PLAN, ELECTRICAL MAINTENANCE, DRY AREA, NORTH MINE, ROOT CAUSE

The research is aimed at proposing improvements to the Dry Area electrical maintenance matrix plan at Minera North, by conducting a Cause-Root analysis for the selection of proposals for optimization of maintenance tasks through the collection of background information. of electrical equipment in the Dry Area for the selection of critical components, by using the Jack Knife Diagram, in order to determine the priorities within maintenance tasks, the explanation through a SIPOC Diagram the limits, the point of the beginning and end of the maintenance process to be improved, through the Cause-Root analysis visualizing the impacts that they cause in the operation of electrical equipment and the development of a proposal for improvements to the electrical maintenance matrix plan of the Dry Area at Minera North. The observed repeated failures that cause plant shutdowns are characterized by failures due to voltage difference, transformer failures, spontaneous activation of the tilt switch chute transfer, by wrong signal til switch discharge cv153, not real activation of tilt switch, activation of cut-off sensor Tray type belt, DCS signal processor card failure, transfer ups failure # 1. It is recommended to carry out an analysis and discussion in the mine operations area to agree on the decrease in stop times due to failures caused by shift change, equipment loading, oversized mineral, fine mineral.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

INTRODUCCIÓN 1

OBJETIVO GENERAL 3

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....3

VALORACIÓN ECONÓMICA ESTIMACIÓN DE INGRESOS.....3

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES 6

1.ANTECEDENTES..... 7

 1.1. PRESENTACIÓN DEL TEMA 7

 1.1.1. Descripción del problema que se pretende resolver..... 7

 1.1.2. Propuesta a desarrollar 8

 1.2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO 8

 1.2.1. Área Seca 8

 1.3. CONTEXTO EN QUE SE DESARROLLA EL PROYECTO..... 10

 1.3.1. Contexto 11

 1.3.2. Misión de la Empresa..... 11

 1.3.3. Impacto del proyecto..... 11

 1.4. ASPECTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS 12

 1.4.1. Mantenimiento 12

 1.4.2. Confiabilidad Operacional 12

 1.5. DIAGRAMA JACK KNIFE 19

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE EQUIPOS Y PLAN DE MANTENIMIENTO.....20

2.ANÁLISIS DE EQUIPOS Y PLAN DE MANTENIMIENTO.....21

 2.1. ANTECEDENTES GENERALES DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS DEL
 ÁREA SECA.....21

 2.1.1. Pica rocas 24

 2.1.2. Chancador Primario CR 101 25

2.1.3. Harneros Secundarios.....	26
2.1.4. Chancadores Secundarios.....	27
2.1.5. Harneros Terciarios.....	27
2.1.6. Chancadores Terciarios.....	28
2.1.7. Alimentadores de Cinta Planta de Chancado	29
2.1.8. Correas Transportadoras	29
2.2. DIAGRAMA SIPOC PARA DESARROLLAR PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO.....	33
2.2.1. Aplicación del Análisis Causa Raíz	35
CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORAS AL PLAN MATRIZ DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO.....	37
3.PROPUESTA DE MEJORAS AL PLAN MATRIZ DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO.....	38
3.1. PROPUESTA DE MEJORAS Y EXPECTATIVAS AL PLAN MATRIZ DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO DEL ÁREA SECA EN LA MINERA NORTE .	38
3.1.1. Descripción de las actividades previas.....	39
3.1.2. Herramientas especiales y manuales.....	39
3.1.3. Área Chancado	40
3.1.4. Área Aglomeración	42
3.1.5. Área Apilamiento	44
3.2. NECESIDADES DE INSPECCIÓN.....	46
3.3. NECESIDADES DE CAPACITACIÓN.....	48
3.4. COSTOS DE CAPACITACIÓN.....	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Equipos principales Área seca	23
Tabla 2-2 Equipos principales Área seca. (Continuación).....	24
Tabla 2-3 Historial de Fallas detectadas en el Sistema Eléctrico (1/MTBF).....	30
Tabla 2-4 Historial de Fallas detectadas en el Sistema Eléctrico (1/MTBF). (Continuación)	31
Tabla 3-1 Carta Gantt Actividades relevantes mejoras al plan matriz de mantenimiento eléctrico	38
Tabla 3-2 Mantención Correa Transportadora de Apilamiento	47
Tabla 3-3 Mantención correa mineral curado	48
Tabla 3-4 Mantención Correa de transferencia.....	47
Tabla 3-5 Mantención Correa intercambiable de apilamiento	48
Tabla 3-6 Contenido del Curso de Planificación y Programación del Mantenimiento ...	49
Tabla 3-7 Contenido del Curso de Planificación y Programación del Mantenimiento. (Continuación).....	49
Tabla 3-8 Contenido del Curso Mantenimiento de Sistemas Eléctricos Instrumentales y Control Industrial	50
Tabla 3-9 Costo de Cursos de Capacitación	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Picar rocas típico BTI.....	25
Figura 2-2 Chancador Primario CR 101	26
Figura 2-3 Harnero Schenck de doble cubierta típico, con aislamiento de vibraciones hacia la estructura soportante o fundaciones	27
Figura 2-4 Cuerpo de Harnero Schenck Tipo Banana	28
Figura 2-5 Chancadores Terciarios	29

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1-1 Bloques generales	9
Diagrama 1-2 Bloques del área seca	9
Diagrama 1-3 Áreas fundamentales de la Confiabilidad operacional.....	13
Diagrama 1-4 Árbol lógico de fallas	16
Diagrama 1-5 Diagrama SIPOC.....	18
Diagrama 1-6 Diagrama Jack Nife.....	19
Diagrama 2-1 Diagrama Jack Knife.....	32
Diagrama 2-2 Diagrama SIPOC.....	33
Diagrama 2-3 Árbol Lógico de Fallas.....	35
Diagrama 2-4 Procedimiento lógico	36
Diagrama 3-1 Área de Chancado	42

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

SIGLAS

BRCA	:	Análisis Costo - Riesgo - Beneficio
CA	:	Análisis de Criticidad
CSS	:	Closed side setting Ajuste en el lado cerrado
DCS	:	Sistema de Control Centralizado
FMECA	:	Análisis de Modos y Efectos de Falla
HH	:	Horas Hombre
LCC	:	Análisis Costo del Ciclo de Vida
MPS	:	Master Production Schedule Programa Maestro de Producción
MTBF	:	Mean Time Between Failures Tiempo Medio Entre Averías
RBI	:	Inspección Basada en Riesgos
RCA	:	Análisis de causa raíz
RCFA	:	Análisis Causa Raíz
ROM	:	Run of mine Tal como sale de la mina
SIPOC	:	Supplier-Inputs-Process-outputs-Customers Proveedor-Entradas-Proceso-Cliente
VDF	:	Variador de velocidad

SIMBOLOGÍAS

°C	:	Grados Celsius
\$	:	Peso
%	:	Porcentaje
”	:	Pulgadas
A	:	Amperes
CLP	:	Peso Chileno
h	:	Hora
hp	:	Horse Power
kW	:	Kilowatts
m	:	Metro
mm	:	Milímetro
m/s	:	Metros por segundo
rpm	:	Revoluciones por minuto
ton	:	Tonelada
ton/h	:	Toneladas por hora
US	:	Dólar
V	:	Voltaje
W	:	Watts

INTRODUCCIÓN

Minera Norte es una faena minera de cobre a rajo abierto ubicada a 75.6 kilómetros al noreste de la ciudad de Calama, Provincia de El Loa, en la Región de Antofagasta. La faena, cuya principal actividad es la producción de cátodos de cobre, por el método de lixiviación y electrobtción, comparte la participación de las acciones. Su principal objetivo es obtener un significativo aumento (15%) en el rendimiento de la planta, esto es, de 50.000 a 61.200 ton seca/día (3.400 ton seca/h). Alcanzar este objetivo permite un aumento en la producción. No obstante, para el logro de esta meta se hace indispensable el mantenimiento de los equipos que permitan optimizar el proceso en las etapas de chancado primario, chancado y harneado, aglomeración y apilamiento

El mantenimiento de los equipos que operan en el Área Seca de Minera Norte es una actividad crítica en el proceso productivo, sobre todo porque éstos son requeridos en forma intensiva, por esta razón la mantención es un tema fundamental en la actividad minera. El Área Seca contempla las etapas de chancado, aglomeración y apilamiento. La planta de chanchado es un eslabón en la cadena mina-chancado-aglomeración-apilamiento, cuya operación es en línea. El chancado se realiza en tres etapas: primaria, secundaria y terciaria en circuito cerrado con una capacidad nominal de 50.000 ton seca/día de mineral. A esto se suma el escenario actual, donde las compañías mineras están focalizadas en mayor productividad y menores costos en todo lo que involucra su operación. Los costos indirectos en mantenimiento son varias veces superiores a los directos. No basta con hacer las tareas de mantenimiento correctamente, sino que esas tareas de mantenimiento deben ser las correctas.

Considerando que uno de los principales problemas de la producción, proviene del área seca, punto crítico de la planta, se inició este proyecto con un período de observación de las condiciones en que ésta se encontraba, seguido de un análisis de equipos críticos a través de 3 estudios: por detenciones no programadas de equipos, por campaña (óxido-sulfuro) y por capacidad; cada uno de los cuales permitió identificar 2 etapas: pre-optimización y post-optimización. La primera etapa, demostró, que los problemas más recurrentes de la planta eran ocasionados por detenciones no programadas de operación y mantención eléctrica. En la segunda etapa, los principales obstáculos fueron provocados por la demora en la puesta en marcha de la segunda línea de aglomeración, la detección de fallas eléctricas en la correa 41-CV-13 (CV-162) y el mal funcionamiento de los empalmes de las correas transportadoras, lo que ocasionó inestabilidad a la planta impidiendo su normal operación. En conclusión, lo que contribuye en gran parte al bajo

desempeño del rendimiento y del tiempo de operación efectiva de la planta es la desactualización del plan matriz eléctrico lo que no permite controlar los sistemas eléctricos necesarios para el movimiento de los equipos que de este depende y sus herramientas. Dicho plan fluctúa la frecuencia de acciones de mantenimiento que van desde mensual, bimensual, trimestral, cuatrimestral, semestral y anual en no correspondencia con la necesidad real de frecuencia de mantenimiento de los equipos. Se aplican planes de mantenimiento eléctrico a equipos que poseen un alto deterioro acumulado. Este deterioro afecta la dispersión de la distribución (estadística) de fallos, imposibilitando la identificación de un comportamiento regular del fallo y con el que se debería establecer el plan de mantenimiento.

Las fallas frecuentemente observadas que causan las paradas de planta están caracterizadas por fallas por diferencia de tensión, fallas de transformadores, activación espontánea de tilt switch chute traspaso, por señal errónea til switch descarga cv153, activación no real de tilt switch, entre otras.

Esto ocasiona que la compañía minera Norte actualmente en el Área Seca pase por un momento complejo debido a las constantes críticas recibidas a raíz de las detenciones no programadas por averías principalmente originadas por fallas eléctricas, esto ha originado que no se cumplan con el tonelaje programado diario y por ende con el tonelaje mensual, por otro lado, al no apilar mineral deseado, tampoco se cumple con la producción de solución de lixiviación cargada (PLS) y con la concentración deseada por el área de lixiviación y electrobtción, afectando en consecuencia la producción. Por lo antes expuesto, se requiere mejoras al plan matriz de mantenimiento eléctrico del Área Seca en la Minera Norte, mediante la realización de un análisis Causa- Raíz para la selección de propuestas de optimización en las tareas de mantenimiento.

OBJETIVO GENERAL

Proponer mejoras al plan matriz de mantenimiento eléctrico del Área Seca en la Minera Norte, mediante la realización de un análisis Causa- Raíz para la selección de propuestas de optimización en las tareas de mantenimiento

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Recopilar los antecedentes generales de los equipos eléctricos del Área Seca para la selección de los componentes críticos, mediante la utilización del Diagrama Jack Knife, a fin de determinar las prioridades dentro de las tareas de mantenimiento
- II. Explicar a través de un Diagrama SIPOC los límites, el punto de inicio y final del proceso de mantenimiento a mejorar, mediante el análisis Causa- Raíz visualizando los impactos que provocan en el funcionamiento de los equipos eléctricos
- III. Desarrollar la propuesta de mejoras y actualización al plan matriz de mantenimiento eléctrico del Área Seca en la Minera Norte.

VALORACIÓN ECONÓMICA ESTIMACIÓN DE INGRESOS

La siguiente valoración tiene como objetivo estimar los ingresos por beneficios que se obtienen a partir de un ahorro en las pérdidas de producción mejorando el plan de mantenimiento, para tener una idea de las detenciones no programadas por mantenimiento correctivo.

Las pérdidas monetarias se cuantificarán utilizando un costo referencial en Dólares (factor US\$766) por hora de producción perdida para el área planta que equivale a un total de \$ 55.535.000 millones aproximadamente , se deben considerar que los costos se desglosan para efectos de cálculo, por ende, las líneas secundarias representan 1/3 del total y las líneas terciarias representan 1/6 del total, esto obedece a la configuración para la

continuidad operacional que posee el proceso productivo por diseño, por lo tanto, se debe aplicar como factor multiplicador para estimar los costos en cada categoría, hacer un estudio más acabado y determinar el impacto que puede tener la utilización de nuestra propuesta en términos económicos.

Tabla Costos de producción por hora planta detenida.

Área	Costo de Producción	
	US\$/Hora	\$/Hora
Planta Completa	\$ 72.500	\$ 55.535.000
Líneas Terciarias	\$ 12.083	\$ 9.255.833
Líneas Secundarias	\$ 24.167	\$ 18.511.667

Fuente: Elaboración propia basado en información obtenida de la investigación.

La complejidad y el comportamiento del proceso en su configuración y el amplio volumen de datos dificulta obtener con precisión un parámetro estándar medible de costos, para ser más precisos utilizaremos una segmentación de datos asociados a los eventos en la etapa secundaria de conminución del proceso de chancado fino (1/3 del total) y evaluaremos específicamente las detenciones por alto amperaje, que disipa la energía en el fusible mecánico (corte de correas de trasmisión) generando pérdidas conjuntas (falla y operativa) evitables, las características de estos eventos nos van a permitir comparar el impacto de nuestro proyecto en la aplicación.

Tabla Filtro de detenciones por alto amperaje en chancadores secundarios, análisis de datos periodo anual 2020.

Suma de Minutos		Causa				
Categoría	Área de Paro	Equipo	Problema	Sobrecarga	Transmisión c	Transmisión/caja d Total general
Pérdida operativa	0201 Ch. Sec. L1	700140CR111	Alto amperaje	63		63
		Total 700140CR111		63		63
	Total 0201 Ch. Sec. L1			63		63
	0202 Ch. Sec. L2	700140CR112	Alto amperaje	135		135
		Total 700140CR112		135		135
	Total 0202 Ch. Sec. L2			135		135
	0203 Ch. Sec. L3	700140CR113	Alto amperaje	236		236
		Total 700140CR113		236		236
	Total 0203 Ch. Sec. L3			236		236
	Total Pérdida operativa			434		434
Pérdida por falla	0201 Ch. Sec. L1	700140CR111	Falla de movimiento		318	275 593
		Total 700140CR111			318	275 593
	Total 0201 Ch. Sec. L1				318	275 593
	0202 Ch. Sec. L2	700140CR112	Falla de movimiento		428	428
		Total 700140CR112			428	428
	Total 0202 Ch. Sec. L2				428	428
	0203 Ch. Sec. L3	700140CR113	Falla de movimiento		182	182
		Total 700140CR113			182	182
	Total 0203 Ch. Sec. L3				182	182
	Total Pérdida por falla				928	275 1637
Total general				434	928	275 1637

Fuente: Programa histórico de fallas Minera Norte

Los resultados según las variables mencionadas para la estimación de ingresos generan \$50.505.997 pesos para cada periodo anual, el 10% como tasa de beneficio es una proyección estimativa, ya que a medida que se mejore el plan de mantenimiento podemos llegar a ese o porcentaje o bien superarlo, esto se proyecta con la mejora dentro de un año al plan de mantenimiento llevando lo que se realiza correctivamente a un mantenimiento programado, esta netamente enfocado en disminuir las fallas inesperadas y horas de detención también que no estén programadas, en conclusión es disponibilidad= confiabilidad + mantenibilidad.

Tabla de estimación de ingresos.

Estimación de Ingresos	
Pérdidas Operativas [min]	434
Pérdidas por Falla [min]	1203
Total [hrs]	27,3
Costo de producción [pesos]	\$ 505.059.972
Tasa de beneficio por ahorro	10%
Ganancia total anual [pesos]	\$ 50.505.997

Fuente: Elaboración propia basado en información obtenida de la investigación.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES

En el siguiente capítulo se realiza un análisis de la dimensión del proyecto y el enfoque de mejoramiento a las necesidades de la compañía.

1.1. PRESENTACIÓN DEL TEMA

A continuación, se desglosa cada una de las componentes a desarrollar, en este caso la descripción del problema y la propuesta a desarrollar:

1.1.1. Descripción del problema que se pretende resolver

La compañía minera Norte actualmente en el Área Seca pase por un momento complejo debido a las constantes críticas recibidas a raíz de las detenciones no programadas por averías principalmente originadas por fallas eléctricas debido a un plan de mantenimiento no actualizado, esto ha originado que no se cumplan con el tonelaje programado diario y por ende con el tonelaje mensual 3 millones 750 mil , por otro lado, al no apilar mineral deseado, tampoco se cumple con la producción de solución de lixiviación cargada (PLS) y con la concentración deseada por el área de lixiviación y electro-obtención, afectando en consecuencia la producción. Por ello, este proyecto se presenta como una herramienta de gran utilidad para el Área Seca de la Minera Norte, puesto que facilitará la comprensión exacta y precisa que ha de intervenir en el sistema eléctrico de manera programada para evitar y controlar las fallas descritas con todos sus componentes y parámetros de funcionamiento, esto determinado por un plan matriz deficiente y no actualizado, debido a las constantes mantenciones correctivas no programadas, llevando esto al contexto de un mantenimiento programado apuntando a crear un plan incluyendo nuevas planillas de inspecciones, frecuencias e instalación de nuevas tecnologías.

1.1.2. Propuesta a desarrollar

Proponer mejoras al Plan Matriz de Mantenimiento Área Eléctrica Planta Minera Norte, mediante la realización de un análisis Causa- Raíz para la selección de propuestas de optimización en las tareas de mantenimiento. La Estrategia de Mantenimiento entrega los lineamientos generales de cómo administrar y gestionar el mantenimiento eléctrico de los equipos, cumpliendo las metas contractuales y estándares de desempeño acordados entre la Minera Norte y sus clientes.

La estrategia establece qué actividades de mantenimiento eléctrico deben ser realizadas sobre los distintos tipos de equipos que comprende el Área Seca. De esta forma, la estrategia organiza las actividades en base a cuatro tácticas de mantenimiento: proactivo, predictivo, preventivo, y correctivo. Cada una de estas tácticas es definida y administrada teniendo en cuenta su impacto en seguridad, medio ambiente, disponibilidad, confiabilidad, costo, regulaciones legales e imagen de la compañía. Cada una de estas tácticas se desglosa en tareas concretas sobre los equipos, frecuencia de ejecución, junto a los procedimientos y medidas de control a realizar.

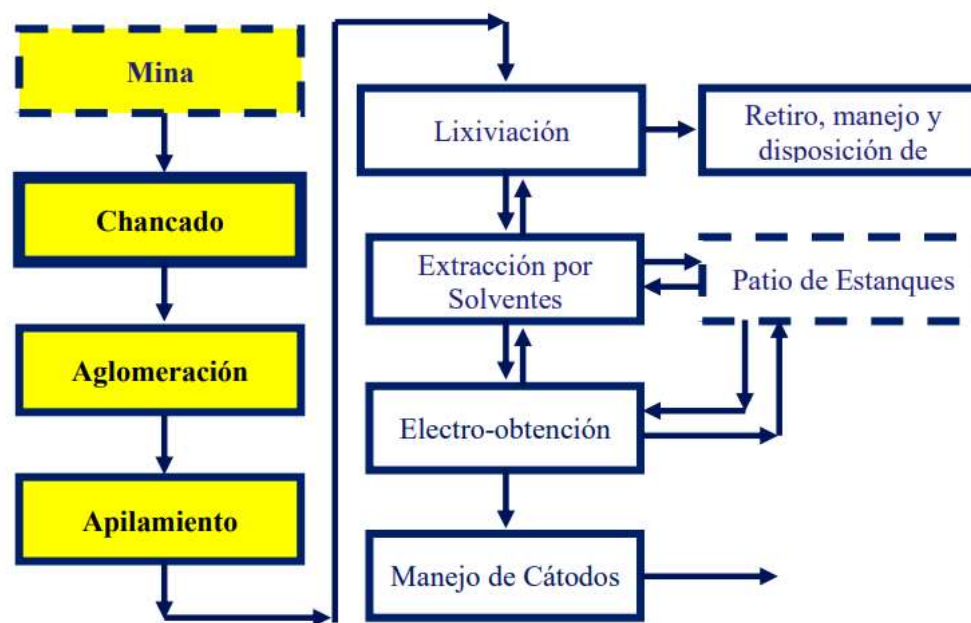
La actualización de la estrategia de mantenimiento está basada en el mejoramiento continuo, en busca del éxito de los clientes y de la sustentabilidad del negocio de Minera Norte. Esto se fundamenta en el control y medición del desempeño y de los procesos asociados, reduciendo las desviaciones detectadas y el aseguramiento de la implementación de las mejoras generadas.

1.2. **ANTECEDENTES DEL PROYECTO**

A continuación, se describe por área la cantidad de equipos y procesos asociados al proyecto de compañía minera Norte:

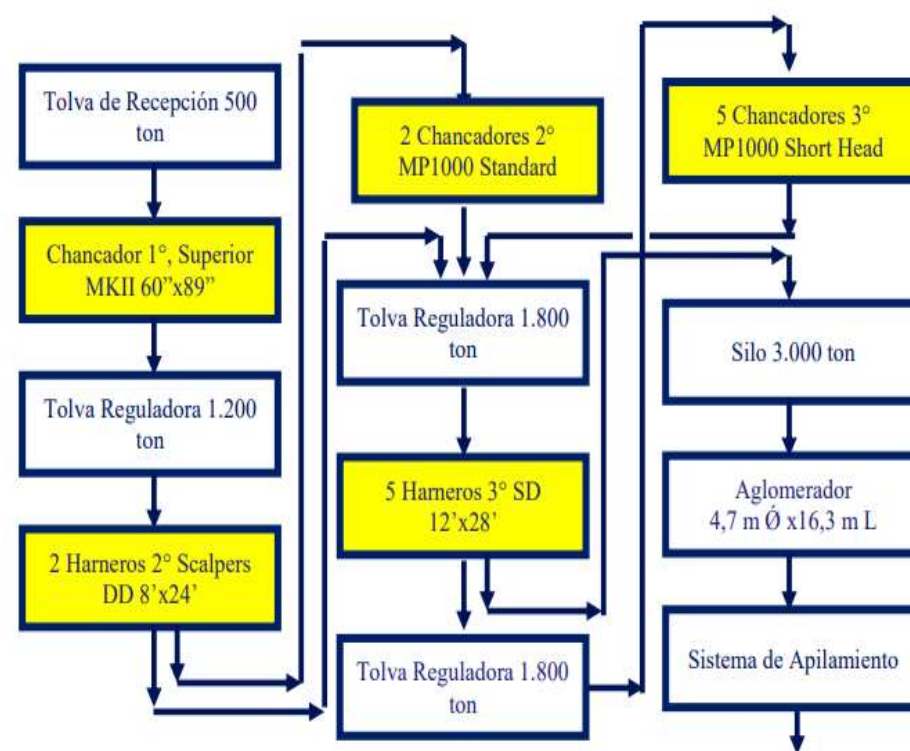
1.2.1. Área Seca

El área seca comprende los procesos de chancado, aglomeración y apilamiento, más específicamente desde el chancador primario (30-CR-01) hasta la correa apiladora de óxido (41-CV14) y la correa apiladora de sulfuro (41-CV-16). (Ver Diagrama 1-1)



Fuente: Elaboración propia basado en información obtenida de la investigación.

Diagrama 1-1 Bloques generales



Fuente: Elaboración propia basado en información obtenida de la investigación.

Diagrama 1-2 Bloques del área seca

El proceso sigue la vía chancado, aglomeración, apilamiento de mineral, lixiviación en pilas, descarga de ripios, extracción por solventes y electro-obtención. La planta de chancado es un eslabón en la cadena mina-chancado-aglomeración-apilamiento, cuya operación es en línea. El chancado se realiza en tres etapas: primaria, secundaria y terciaria, en circuito terciario cerrado, con una capacidad nominal de 50.000 ton/día de mineral. El mineral es triturado desde un tamaño máximo de 1.300 mm hasta 92% bajo 12,7 mm y 98% bajo 19 mm, como producto final después de las tres etapas de chancado. La planta opera en campañas alternadas de mineral oxidado y sulfurado. (Ver Diagrama 1-2)

1.2.1.1. Descripción de las Instalaciones y Equipos Principales

- Equipos de proceso para reducir de tamaño y clasificar los minerales a lo largo del proceso, que son, el picar rocas, los chancadores y los harneros.
- Las tolvas y el silo que regulan la alimentación a los equipos de proceso y/o almacenan mineral, para suavizar las variaciones en el suministro del mineral.
- Los alimentadores y correas transportadoras, que dosifican, transfieren y/o transportan los productos.
- Los sistemas de control de las emisiones de polvo, por supresión y colección.
- Elementos de protección y control, normalmente asociados a algún equipo o instalación.

1.3. CONTEXTO EN QUE SE DESARROLLA EL PROYECTO

Dentro de los matices importantes para el desarrollo de este mejoramiento se incorpora la descripción general, tanto de la problemática como datos importantes de la compañía como la visión y misión, además del real impacto del proyecto.

1.3.1. Contexto

Dentro de este trabajo de título se enfocará la problemática en presentar el Área Seca de la Empresa Minera Norte, puesto que sus equipos presentan un sinnúmero de fallas eléctricas producto de un desactualizado plan de mantenimiento eléctrico que no comulga con las necesidades y exigencias que se presentan, en consecuencia ocasiona paradas de planta que afectan la producción, lo que hace primordial asegurar la continuidad operacional de los equipos por medio de la ejecución del mantenimiento de acuerdo con las indicaciones y estándar del fabricante, asegurando la disponibilidad y desempeño de los equipos, logrando así la optimización, asegurando la sustentabilidad de la rentabilidad y competitividad de Minera Norte busca ser protagonista del éxito de sus clientes.

1.3.2. Misión de la Empresa

Según, Manual de Calidad (2010) de la Empresa Minera Norte, la Misión y políticas de la Empresa se enfocan en:

“Realizar nuestro trabajo con altos estándares de salud ocupacional y seguridad, siendo efectivos y eficientes en generar las mejores condiciones de seguridad y salud ocupacional, para todos los trabajadores, propios y contratistas”.
(ECOPETROL, 2010)

1.3.3. Impacto del proyecto

El impacto del proyecto se circunscribe en que los equipos operen sin averías y fallos, eliminar toda clase de pérdidas, mejorar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos y emplear verdaderamente la capacidad industrial instalada, reduciendo los costes de mantenimiento y eliminar pérdidas que afectan la productividad de la Minera. Lo que sin duda redundará en el fortalecimiento del trabajo en equipo, incremento en la moral del trabajador, crear un espacio donde cada persona pueda aportar lo mejor de sí, todo esto, con el propósito de hacer del sitio de trabajo un entorno creativo, seguro, productivo y donde trabajar sea realmente grato y satisfactorio.

1.4. ASPECTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS

Los aspectos técnicos y metodológicos son muy importantes, dentro de lo cual las indicaciones expresadas en algunos títulos literarios aplicados al mantenimiento y confiabilidad de equipo, a continuación se definen algunos términos importantes

1.4.1. Mantenimiento

Según (Duffua, 2002) expresa que “es el conjunto de acciones que permite restablecer un SP a un estado específico, para que pueda cumplir un servicio determinado.” (p.1). De una manera general el mantenimiento son todas aquellas labores que realiza el usuario durante la vida operativa de los equipos o sistemas para lograr que estén en estado de funcionamiento o para volverlos a ese estado. Obviamente, las personas encargadas de la producción esperan que sus equipos o sistemas estén en operación tanto tiempo como sea posible. Pero solo se puede lograr si se toman acciones de mantenimiento apropiadas, algunas de las cuales son exigidas o sugeridas por los manuales de fabricantes. Sin embargo, a pesar de estas acciones, el equipo puede dejar de funcionar, razón por la cual se hace necesario tomar acciones para ponerlo en funcionamiento

1.4.2. Confiabilidad Operacional

La confiabilidad operacional incluye procesos de mejoramiento continuo mediante la incorporación sistemática de nuevas tecnologías, técnicas de análisis y herramientas de diagnóstico para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial priorizando las actividades y la proacción humana, basados en la visión, la misión y los objetivos de la organización. Para lograr un total control de la producción se debe garantizar confiabilidad operacional en sus cuatro áreas fundamentales; confiabilidad en proceso mediante una integridad operativa, confiabilidad humana través de las competencias y el entrenamiento, confiabilidad de diseño la cual incluye la mantenibilidad y por último la confiabilidad de equipos que se vale de estrategias de mantenimiento para aumentar disponibilidad de plantas y equipos. (Ver Diagrama 1-3).



Fuente: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/la-cultura-de-la-confiabilidad-operacional>, consultado en línea octubre, 2020

Diagrama 1-3 Áreas fundamentales de la Confiabilidad operacional

La confiabilidad de equipos es una de las principales áreas de la confiabilidad operacional para mejorar y lograr los resultados de mejora continua en procesos, usando técnicas de mantenimiento que mejoran la disponibilidad de los equipos mediante el análisis de probabilidad de falla, capacidad de las partes, componentes, equipos y subsistemas permitiendo de esta manera que los equipos cumplan con la función y desempeño para lo cual fueron diseñados evitando fallas y periodos largos de baja productividad, prediciendo fallas por medios estadísticos y analizando las condiciones de uso, así como su mantenibilidad, seguridad y nivel de calidad

1.4.2.1. Confiabilidad de Equipos

(García, 2017) expone que una de las maneras para maximizar la confiabilidad operacional de los activos en su contexto operacional es a partir de la determinación de los requerimientos reales de mantenimiento logrando la optimización de costos mediante diferentes técnicas, herramientas y filosofías de mantenimiento que ayudan a identificar sistemáticamente que debe hacerse para garantizar que los activos físicos continúen haciendo lo que requiere el usuario en el contexto operacional actual.

En términos generales permite distribuir en forma efectiva los recursos asignados a la gestión de mantenimiento tomando en cuenta la importancia de los activos en el contexto operacional y los posibles efectos y consecuencias de los modos de falla de estos activos sobre la seguridad el ambiente y las operaciones.

1.4.2.2. Herramientas para la Optimización de la Confiabilidad en Equipos

Las principales herramientas que se utilizan para la gestión de activos las cuales contribuyen a la confiabilidad de los equipos son las siguientes:

- El Análisis de Criticidad (CA); es una técnica que permite jerarquizar instalaciones, sistemas y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones
- El Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMECA); es una metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan.
- La Inspección Basada en Riesgos (RBI); es la técnica que permite definir la probabilidad de falla de un sistema, y las consecuencias que las fallas pueden generar sobre la gente, el proceso y el entorno.
- El Análisis Costo - Riesgo - Beneficio (BRCA); es una metodología que permite establecer una combinación óptima entre los costos de realizar una actividad y los beneficios generados, con base en el valor del riesgo que involucra la realización, o no, de tal acción.
- El Análisis del Costo del Ciclo de Vida (LCC); es una técnica que permite elegir entre opciones de inversión o acciones de mejora de la confiabilidad con base en su efecto en el costo total del ciclo de vida de un activo nuevo o en servicio.
- El Análisis Causa Raíz (RCFA); es un procedimiento sistemático que se aplica con el objetivo de precisar las causas que originan las fallas, sus impactos y sus frecuencias de aparición, para poder mitigarlas o eliminarlas

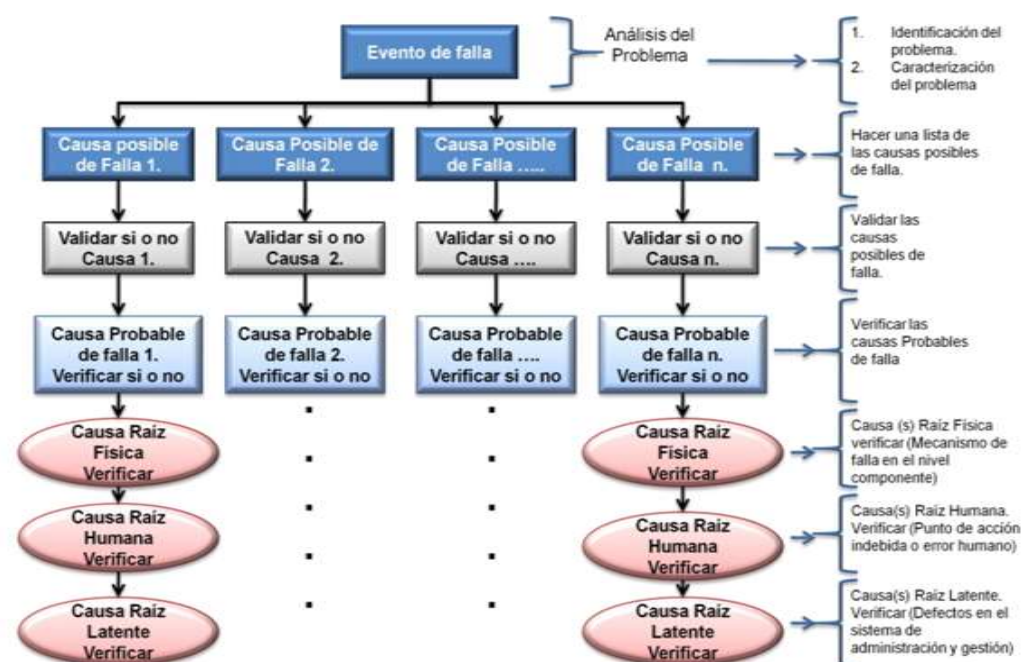
El RCA es el mejor exponente de estas técnicas que combinado con los métodos de medición de fallas cuantitativo basado en los análisis estadísticos, se convierten en una herramienta poderosa para la eliminación de malos actores buscando una manera rápida y eficaz a la solución de problemas cotidianos y evitar repetición de eventos mayores, con

la eliminación de los defectos de una falla repetitiva (mal actor) se lograra obtener una mayor confiabilidad integral del proceso de producción por reducción en el número de averías, también se optimizara el volumen de trabajo al reducir las actividades reactivas, aumentando de esta forma la eficiencia en los procesos de ejecución, razones por las cuales usar esta metodología de confiabilidad permitirá mejorar la confiabilidad operacional, con participación activa del personal de empresa optimizando de los recursos destinados al departamento de mantenimiento. (García, 2017)

1.4.2.3. Análisis de Causa Raíz.

El análisis de causa raíz (RCA) es un método cualitativo de análisis de falla que utiliza la lógica sistemática para lograr identificar las causas responsables de una falla. También permite identificar la mejor solución para corregir la causa identificada y como realizar su seguimiento, esta metodología se basa en el árbol lógico de falla (Ver Diagrama 1-4), la deducción y verificación de los hechos para encontrar el origen de una falla, permite aprender de las fallas y eliminar las causas, en lugar de corregir los síntomas.

Por su estructura, el RCA es un proceso que consume recursos y una gran cantidad de tiempo por lo tanto se debe establecer desde un principio si el problema requiere realizar o no un estudio de RCA. Con el fin de saber si una falla requiere de un RCA, se debe evaluar basado en sus consecuencias, por ejemplo: fallas que involucren la integridad de las personas, las inversiones o infraestructura, los equipos o la combinación de varias o todas las anteriores. El objetivo es determinar el origen de las causas físicas, humanas y latentes de una falla, la frecuencia con que apareció y el impacto que genera, por medio de un estudio minucioso de los factores, circunstancias y diferentes elementos que podrían mitigar o eliminar por completo la falla una vez tomadas las acciones correctivas que sugiera el análisis mejorando la seguridad, confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos de la organización



Fuente: ECOPETROL S.A. Manual para la Aplicación de la Metodología de Análisis de Causa Raíz para la Solución de Problemas

Diagrama 1-4 Árbol lógico de fallas

Se debe ir más allá de los componentes físicos de la falla o raíces físicas y analizar las acciones humanas que desataron la cadena de causa-efecto que llevo a la causa física, lo cual implica analizar por qué hicieron esto, si se debió a procedimientos incorrectos, especificaciones equivocadas o a falta de capacitación, lo cual puede sacar a la luz raíces latentes, es decir deficiencias en el gerenciamiento, que, de no corregirse, pueden hacer que la falla se repita nuevamente.

1.4.2.4. Aplicación del Análisis Causa Raíz.

En la aplicación del análisis de causa raíz consta de cuatro etapas básicas que se definirán a continuación.

- I. Definición del problema: Esta etapa consiste en identificar cual es el problema o situación que se desea solucionar, en este punto se decide la aplicación de la herramienta ACR en busca de mejoras para el funcionamiento de los equipos o erradicar problemas complejos

- II. Análisis del problema: Costa del análisis preliminar y el desarrollo en pleno de la herramienta y definición de los pasos para la aplicación del RCA, los cuales son:
- Recolectar datos de la falla
 - Ordenar el análisis (equipo multidisciplinario)
 - Analizar los datos (El equipo toma cada pieza del rompecabezas y la pone en su lugar)
- III. Identificar soluciones efectivas: Esta etapa está ligada a los hallazgos y conclusiones obtenidas a lo largo de la aplicación del análisis causa raíz al problema estudiado, donde ya localizadas las causas de fondo se identifican las correcciones que se deberían realizar para asegurar la no ocurrencia del fallo.
- IV. Implementar soluciones: Cuando se realizan las correcciones propuestas a eliminar la falla, basadas en el plan de seguimiento propuesto a las recomendaciones emitidas en el informe RCA. (Latino, 2002)

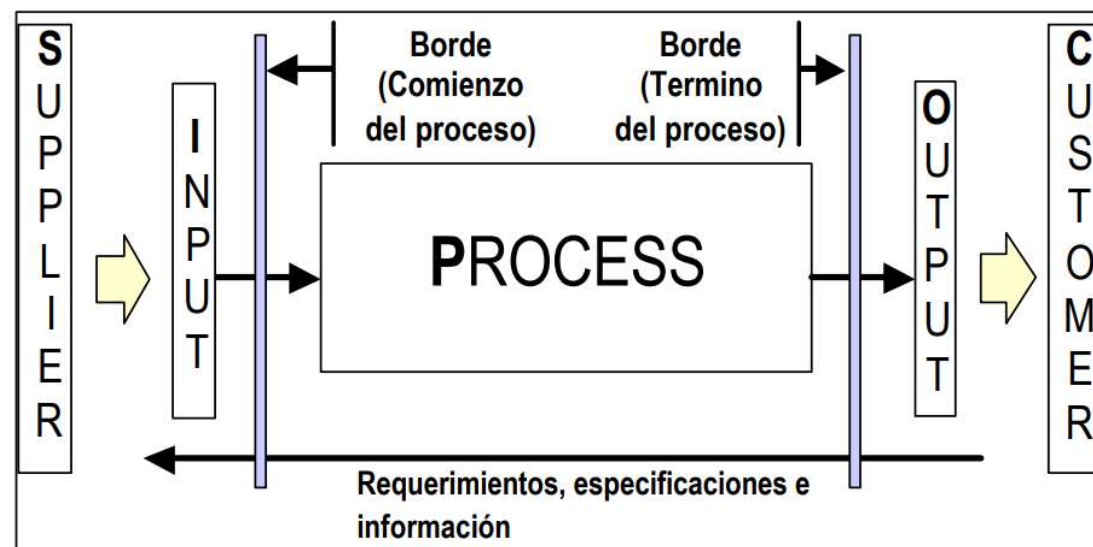
1.4.2.5. Niveles del Análisis de Causa Raíz

Para solucionar definitivamente un problema se debe llegar a la verdadera causa que lo está generando; es por esto por lo que el análisis de causa tiene tres niveles de posibles causas.

- **Causa Raíz Física:** Reúne toda las situaciones o manifestaciones de origen físico que afectan directamente la continuidad operativa de los equipos o planta. En este nivel no se encontrará la causa raíz de la falla, sino un punto de partida para localizarla.
- **Causa Raíz Humanas:** Aquí se encuentran todos los errores cometidos por el factor humano y que inciden directa o indirectamente en la ocurrencia de la falla, esta es una de las categorías en la que se podía encontrar la causa raíz.
- **Causa Raíz Latente:** Todos aquellos problemas que, aunque nunca hayan ocurrido son factibles su ocurrencia, entre ellos: falta de procedimiento para arranque o fuera de servicio, personal de mantenimiento sin capacitación, inapropiados procedimientos de operación entre otros (Latino, 2002)

1.4.2.6. Diagrama SIPOC

Un diagrama SIPOC es una herramienta usada por un equipo de trabajo para identificar todos los elementos relevantes de un proceso al que se quiere mejorar. El nombre de esta herramienta proviene de las siglas en inglés, considera que se deben identificar los Proveedores (Suppliers) del proceso, las Entradas (input) al proceso, el Proceso (Process) a mejorar, las Salidas (Outputs) del proceso y quienes son los Clientes (Customers) que reciben las salidas del proceso. En algunos casos, se pueden anexar los requerimientos de los clientes al final del diagrama para más detalles. Este diagrama es muy útil cuando no hay claridad en: ¿Quiénes son los proveedores de las entradas del proceso?, ¿Que especificaciones para las entradas?, ¿Quiénes son los verdaderos clientes del proceso?, ¿Cuáles son los requerimientos de los clientes?

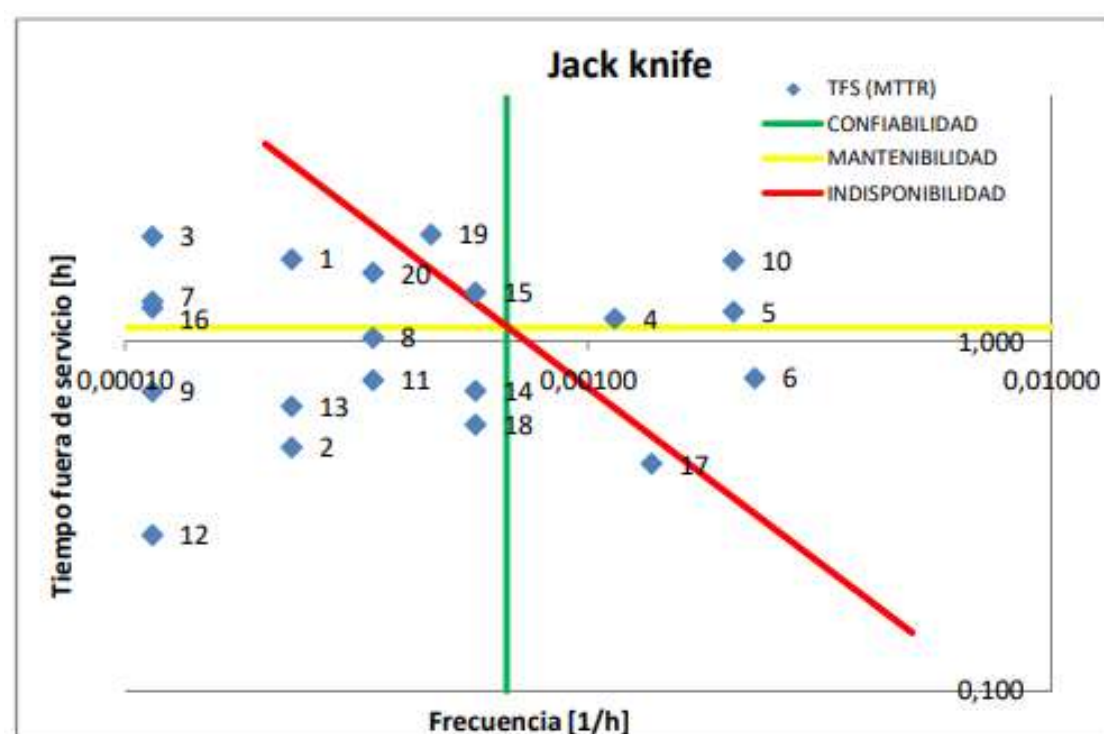


Fuente: Elaboración propia basado en información obtenida de la investigación.

Diagrama 1-5 Diagrama SIPOC

1.5. DIAGRAMA JACK KNIFE

Es un método para analizar el tiempo de inactividad o indisponibilidad de equipos o sistemas usando diagramas de dispersión. La elaboración de este diagrama preserva el esquema de clasificación de los histogramas de Pareto, y a su vez aporta contenidos adicionales con respecto a las frecuencias de fallas y tiempo medio de reparación, mediante la aplicación de valores límites, los diagramas de dispersión puede ser dividido en cuatro cuadrantes que permitan que las fallas sean clasificadas en: agudos, crónico, agudo/crónico y bajo control. Además, permiten fácilmente la identificación de los problemas que afectan a la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema o equipos.



Fuente: Jacknife vs Pareto, ¿cuál es mejor y por qué? – Gestión de Activos Ausenco Rylson
(wordpress.com)

Diagrama 1-6 Diagrama Jack Nife

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE EQUIPOS Y PLAN DE MANTENIMIENTO

2. ANÁLISIS DE EQUIPOS Y PLAN DE MANTENIMIENTO

En este capítulo se describe el proceso y los sistemas de gestión los cuales se aplican para el mejoramiento del plan matriz eléctrico.

2.1. ANTECEDENTES GENERALES DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS DEL ÁREA SECA

Minera Norte, dentro de sus políticas y dinámicas de trabajo en su gestión de mantenimiento opera el en conjunto con el sistema informático SAP, el cual es un software diseñado para administrar contratos de mantenimiento de equipos de construcción y minería, permitiendo gestionar información respecto al desempeño, ciclo de vida de los equipos y costos asociados.

El Área Seca contempla las etapas de chancado, aglomeración y apilamiento. La planta de chancado es un eslabón en la cadena mina-chancado-aglomeración-apilamiento, cuya operación es en línea. El chancado se realiza en tres etapas: primaria, secundaria y terciaria en circuito cerrado con una capacidad nominal de 50.000 ton seca/día de mineral. El mineral es triturado desde un tamaño máximo de 1.300 mm hasta 92% bajo 12,7 mm y 98% bajo 19 mm, como producto final después de las tres etapas de chancado. La planta opera en campañas alternadas de mineral oxidado y sulfurado.

El mineral ROM (run of mine o tal como sale de la mina) es transportado a la planta de chancado en camiones de 240 ton y descargado directamente sobre el buzón de recepción del chancador primario de 500 ton de capacidad viva. En caso de alimentación con rocas de un diámetro superior al de diseño o de un bloqueo de la boca del chancador por un puente de rocas de tamaño cercano al máximo, éstas son quebradas o movidas mediante una pica rocas hidráulico BTI.

El mineral ROM, con un tamaño máximo de 1.300 mm, es triturado bajo 250 mm en un chancador primario giratorio METSO Superior MKII de 60" x 89" y descargado en una tolva de compensación de 1.200 ton. La tolva bajo el chancador primario tiene la función de compensar las variaciones menores entre camión y camión en la alimentación al chancador primario y regular la alimentación a los harneros secundarios, para una

mayor continuidad operacional sin acopio de gruesos. Esta tolva tiene una capacidad mayor que los diseños habituales y para disminuir la posibilidad de segregación del mineral en la alimentación a los harneros secundarios y aumentar la flexibilidad operacional, la descarga de la tolva es a través de dos líneas paralelas.

Cada línea de alimentación a los harneros se compone de un alimentador de cinta de velocidad variable y una correa transportadora, con una capacidad de diseño 2.100 ton/h, utilizable en caso de operar con una sola línea secundaria. En la transferencia entre los alimentadores y las correas se ubican electroimanes para atrapar materiales inchancables que pudieren dañar los chancadores secundarios. Con el mismo objetivo, existen detectores de metales en las correas. Para el control y registro de la alimentación a la planta de chancado, se cuenta con pesómetros en algunas correas.

Los harneros secundarios, Schenck de 8 pie x 24 pie, doble cubierta, tienen como función eliminar desde la alimentación a los chancadores secundarios el producto de tamaño inferior a la abertura de salida de los chancadores (función secundaria); utilizando mallas de protección superiores de 110 mm y mallas inferiores de corte de 60 mm, que pueden ser cambiadas según las características reales del mineral. El sobre tamaño de los harneros secundarios es triturado en dos chancadores METSO MP1000 estándar, ajustados a un CSS de 24 mm (closed side setting o ajuste en el lado cerrado) para las condiciones de diseño. Esta abertura es ajustable entre 18 mm y 35 mm. La alimentación a los chancadores terciarios es con un tamaño máximo de 110 mm.

El bajo tamaño de los harneros secundarios es colectado en una correa común. Esta correa se ha sobre dimensionado para una capacidad de 2.900 ton/h, que corresponde al caso extremo en que el 80% de mineral pasa al bajo tamaño de los harneros. La descarga de esta correa, el producto de los chancadores secundarios y la carga circulante proveniente de los chancadores terciarios, son colectados en una correa con carro repartidor y distribuidos en una tolva de 1.800 toneladas.

Esta tolva sirve para regular la alimentación a los harneros terciarios y compensar las variaciones de flujo en el suministro de mineral fresco y en la carga circulante del circuito terciario mediante alimentadores de cinta de velocidad variable se alimenta a cinco harneros terciarios de 12 pie x 28 pie, cubierta simple, con abertura de malla de 18 mm. El sobre tamaño de los harneros terciarios es colectado en una correa y distribuido en una tolva de regulación de 1.800 ton. Mediante alimentadores de cinta de velocidad variable se alimenta a cinco chancadores terciarios MP1000 cabeza corta, ajustados a un CSS de 12 mm, para las condiciones de diseño. El producto de los chancadores regresa en circuito cerrado a los harneros terciarios para ser clasificado.

El bajo tamaño de los harneros terciarios es el producto final de la planta de chancado y es almacenado en un silo de 3.000 ton de capacidad viva, que regula la alimentación a la aglomeración. El control de polvo de la planta de chancado se realiza mediante sistemas de abatimiento tipo neblina seca y, además, sistemas de colección de polvo con filtros de manga en la tolva de compensación bajo el chancador primario y en el silo

A continuación, se muestra en la tabla, el listado de equipos del Área Seca

Tabla 2-1 Equipos principales Área seca

AREA	EQUIPO	SALA ELÉCTRICA
CHANCADO PRIMARIO	PICAROCA	ER-101
	CHANCADOR PRIMARIO CR-101	ER-101
	ALIMENTADOR FE-101	ER-101
	CORREA TRANSPORTADORA CV-101	OC1
	CORREA TRANSPORTADORA CV-102	OC1-OC2
	CORREA TRANSPORTADORA CV-103	OC2-OC3
CHANCADO FINO	ALIMENTADORES SECUNDARIOS FE-111-112-113-114-115-116	STOCK PILE
	CORREAS SECUNDARIAS CV-111-112-113	SALA ELÉCTRICA SECUNDARIO
	HARNEROS SECUNDARIOS SR-111-112-113	SALA ELÉCTRICA SECUNDARIO
	CHANCADORES SECUNDARIOS CR-111-112-113	SALA ELÉCTRICA SECUNDARIO
	CORREAS ALIMENTADORAS TOLVA CV-121-122-123	SALA ELÉCTRICA BANANA
	ALIMENTADORES BANANA FE-131-132-133-134-135-136	SALA ELÉCTRICA BANANA
	HARNEROS BANANAS SC-131-132-133-134-135-136	SALA ELÉCTRICA BANANA
	CORREAS ALIMENTADORAS TOLVA CV-131-132-133-134-135-136	SALA ELÉCTRICA Terciario
	ALIMENTADORES Terciarios FE-141-142-143-144-145-146	SALA ELÉCTRICA Terciario
	CHANCADORES Terciarios CR-141-142-143-144-145-146	SALA ELÉCTRICA Terciario

Fuente: Minera Norte, 2020

Tabla 2-2 Equipos principales Área seca. (Continuación)

	CORREA PRINCIPAL CV-153 ALIMENTODORA SILO AGLOMERADO	SALA ELÉCTRICA AGLOMERADO
	CORREA ALIMENTADORA SILO FOS CV-154	SALA ELÉCTRICA FOS
	CORREAS VACIADO SILO FOS CV-155-156-157	SALA ELÉCTRICA FOS
	ALIMENTADOR FE-164	SALA ELÉCTRICA FOS
	ALIMENTADORES FE-161-162-163	SALA ELÉCTRICA AGLOMERADO
	CORREAS ALIMENTADORAS CV-161-162-163	SALA ELÉCTRICA AGLOMERADO
	TAMBORES AGLOMERADORES DR-161-162-163	SALA ELÉCTRICA AGLOMERADO
APILAMIENTO	CORREA TRANSPORTADORA CV-202	SALA ELÉCTRICA LP-1
	CORREA ALIMENTADORA CV-202-1	SALA ELÉCTRICA TP-202
	CORREA TRANSPORTADORA CV-205	SALA ELÉCTRICA LP-3/4
	CORREA TRANSPORTADORA CV-206	SALA ELÉCTRICA WD-1
PORTABLES	CORREAS RAMP PORTABLES RP	SALA ELÉCTRICA RAMP PORTABLES
	CORREAS STANDAR PORTABLES SP	SALA ELÉCTRICA STANDAR PORTABLES
	CORREA HF	SALA ELÉCTRICA HF
	CORREA HC	SALA ELÉCTRICA HC
	CORREA RADIAL STACKER RS	SALA ELÉCTRICA RS
	CORREA TRANSFER PORTABLE PT	SALA ELÉCTRICA PT

Fuente: Minera Norte, 2020

2.1.1. Pica rocas

Pica rocas hidráulico con un diseño estructural para permitir esfuerzos horizontales y arrastrar rocas y material fino que se haya adherido a la tolva. El picar rocas es controlado manualmente por una palanca y puede ser operado a distancia desde la sala de control del área seca o desde una plataforma local ubicada en un nivel superior a un costado de la boca del chancador. El picar rocas incluye la unidad hidráulica con motor de 150 hp, enfriador aire/aceite con motor eléctrico de 1 hp, calentador de aceite de 2 kW y sistema centralizado automático de lubricación. Además, incluye el martillo con sistema de acoplamiento rápido; 2 baldes de 0,7 metros cúbicos de capacidad, con labios de acero de alta resistencia al desgaste, para remover material desde la tolva y un gancho de 3 ton para ser usado para propósitos de mantenimiento.



Fuente: Fotografía tomada en terreno en las dependencias de la mina.

Figura 2-1 Picar rocas típico BTI

2.1.2. Chancador Primario CR 101

Chancador Giratorio 60" x 89" con motor eléctrico principal de 800 hp, sistema de lubricación y sistema hidráulico; éste último, para regular la abertura del chancador mediante la altura del eje principal, absorber impactos en caso de entrada de materiales inchancables y liberar la cámara de chancado de bloqueos por carga o materiales inchancables. Incluye 2 bombas de lubricación de 10 hp (una de reserva), una bomba hidráulica de 5 hp para sistema MPS, un sistema de lubricación de la araña de 2 hp, 2 enfriadores de aceite de 10 hp, soplador para aire de sello y carro de mantención de la excéntrica.

Mínima abertura de 152 mm y máxima abertura de 229 mm. La abertura de los chancadores giratorios primario se refiere a la distancia más alejada entre las corazas en su punto más cercano entre ellas (abertura del lado abierto). La abertura recomendada para la operación con el mineral definido en el criterio de diseño es de 165 mm, con un tamaño máximo del mineral de salida de 250 mm. Excentricidad estándar de 46 mm. Velocidad del eje principal de 149 rpm. Carrera del eje principal 231 mm.



Fuente: Chancador Giratorio - Crushersparts

Figura 2-2 Chancador Primario CR 101

2.1.3. Harneros Secundarios

Tipo Banana (multi-inclinación) de 8 x 24 pie, cubierta doble. Abertura cubierta superior 110 mm y abertura cubierta inferior 60 x 20 mm y 60 x 60 mm. Velocidad del harnero 842 rpm y amplitud del harnero de 12,1 mm. Un motor de 75 hp. Capacidad de diseño: 2.100 ton/h. Incluye sistema de detección de mal funcionamiento, encapsulamiento para disminuir las emisiones de polvo y sistema de aislamiento de vibraciones hacia las fundaciones.



Fuente: Fotografía tomada en terreno en las dependencias de la mina.

Figura 2-3 Harnero Schenck de doble cubierta típico, con aislamiento de vibraciones hacia la estructura soportante o fundaciones

2.1.4. Chancadores Secundarios

Chancador de cono tipo cabeza standard, con motor eléctrico principal de 1.000 hp, sistema de lubricación y sistema hidráulico; este último para regular la abertura del chancador mediante el giro del cuerpo con los cóncavos (conocido como la tuerca), absorber impactos en caso de entrada de materiales inchancables y liberar la cámara de chancado de bloqueos por carga o materiales inchancables. Incluye bomba hidráulica de 50 hp para sistema de posicionamiento, dos bombas de lubricación de 30 hp (una en espera), dos calentadores de aceite de 4 kW, dos enfriadores de aceite, sistema de sello de polvo.

2.1.5. Harneros Terciarios

Tipo Banana (multi-inclinación) de 12 x 28 pie, cubierta simple. La abertura de malla es de 18 x 50 mm en la entrada de mineral y luego 18 x 18 mm. La velocidad del harnero es de 997 rpm y la amplitud del harnero de 8,1 mm. Tiene un motor de 75 hp. La capacidad de diseño es de 1.290 ton/h. Incluye sistema de detección de mal funcionamiento, encapsulamiento para disminuir las emisiones de polvo y sistema de aislamiento de vibraciones hacia las fundaciones.

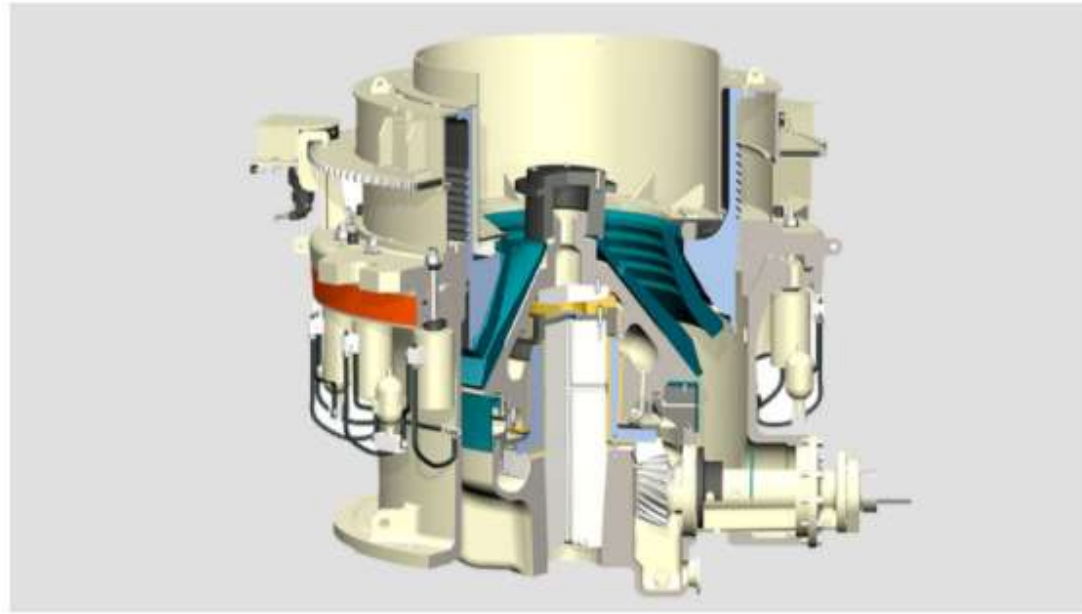


Fuente: Fotografía tomada en terreno en las dependencias de la mina.

Figura 2-4 Cuerpo de Harnero Schenck Tipo Banana

2.1.6. Chancadores Terciarios

Chancador de cono tipo cabeza corta, con motor eléctrico principal de 1.000 hp, sistema de lubricación y sistema hidráulico; este último para regular la abertura del chancador mediante el giro del cuerpo con los cóncavos (conocido como la tuerca), absorber impactos en caso de entrada de materiales inchancables y liberar la cámara de chancado de bloqueos por carga o materiales inchancables. Incluye bomba hidráulica de 50 hp para sistema de posicionamiento, 2 bombas de lubricación de 30 hp (una en espera), 2 calentadores de aceite de 4 kW, 2 enfriadores de aceite, sistema de sello de polvo.



Fuente: Chancador Giratorio - Crushersparts

Figura 2-5 Chancadores Terciarios

2.1.7. Alimentadores de Cinta Planta de Chancado

Los alimentadores descargan la tolva de compensación bajo el chancador primario y su sistema motriz con variación de velocidad es hidráulico. En los otros alimentadores la velocidad variable es mediante variadores de frecuencia. Otros alimentadores de los chancadores terciarios consideran los detectores de metales para dar una protección adicional a los chancadores terciarios, para aquellos materiales inchancables que no hayan sido atrapados por el electroimán ubicado en la correa.

2.1.8. Correas Transportadoras

Para control del proceso, se cuenta con los pesómetros, en las correas. Los detectores de metales en las correas dan una protección adicional a los chancadores secundarios para aquellos materiales inchancables que no hayan sido atrapados por los electroimanes. Las correas cuentan con carro repartidor para distribuir la carga en las tolvas de alimentación a los harneros y a los chancadores terciarios, respectivamente; a los cuales se ha incorporado sistemas de supresión de polvo con alimentación flexible, para acompañar a los carros transportadores en su recorrido.

A continuación, se expone el historial de fallas detectadas en el sistema eléctrico

Según la Tabla se analiza, con fallas observadas por componente sumando su condición observada que corresponden al Sistema Eléctrico, el porcentaje de falla se determina según las detenciones no programadas y mantenciones correctivas que se refleja en las siguiente formula 1/MTBF (Tiempo Medio Entre Averías, del inglés, Mean Time Between Failures)

Tabla 2-3 Historial de Fallas detectadas en el Sistema Eléctrico (1/MTBF)

EQUIPO	FRECUENCIA DE FALLA (1/MTBF)	FALLA	CONDICIÓN OBSERVADA
CORREA MINERAL CURADO	88%	CONTROL DE PROCESOS	(E) falla en ups transferencia # 1.
APILAMIENTO CV206	15%	Falla de comunicación	(E) fuera de servicio por falla ups en wd-1
UNID. HIDRAULICA CHANC. TERCARIO #3A	18%	Reparación mecánica	(S) fuera de servicio para cambiar block circuito de fijación en unidad hidráulica.
CHANCADOR SECUNDARIO NORDBERG MP1250 #3	23%	Reparación Eléctrica/Instrumental	(E) sin alimentación por falla en unidad hidráulica.
RADIAL STACKER (RS-01)	13%	Reparación Eléctrica/Instrumental	(E) fuera de servicio por trip ventilador orugas.
RAMP PORTABLE CONVEYOR (RP-01)	15%	Reparación Eléctrica/Instrumental	(E) fuera de servicio rp-01 por falla transformador, se cambia por rp-05
CORREA BYPASS CHANCADO TERCARIO	19%	Reparación Eléctrica/Instrumental	(E) fuera de servicio se activa tilt switch chute traspaso
CORREA BYPASS CHANCADO TERCARIO	26%	Falsa Indicación	(E) fuera de servicio por alto nivel til switch en traspaso a cv152, no real.
CORREA ALIMENTACION SILO CHANC. TERC.	18%	Falsa Indicación	(E) fuera de servicio por señal errónea til stiwh descarga cv153
CORREA INTERCAMBIABLE APILAMIENTO CV206	53%	Falla de Motor	(O) fuera de servicio por activación de tilt switch en chute de descarga.
HORIZONTAL CONVEYOR (HC-01)	14%	Reparación Eléctrica/Instrumental	(E) fuera de servicio por activación tilt switch no real se encuentra cable suelto
CHANCADOR PRIMARIO FULLER GIRATORIO	25%	Control de Procesos	(E) habilitación de tarjetas de control de área.
ALIMENTADOR DE DESCARGA KRUPP ROBINS	19%	Reparación Eléctrica/Instrumental	(E) área fuera de servicio por detención de feeder 101 se quema tarjeta de plc y fusible suelto.
ESTANDAR PORTABLE CONVEYOR (SP-14)	22%	Reparación Eléctrica/Instrumental	(E) fuera de servicio rp-06 por falla tarjeta e3 plus bomba hidráulica
ESTANDAR PORTABLE CONVEYOR (SP-11)	21%	Reparación Eléctrica/Instrumental	(E) fuera de servicio sp-11 por falla tarjeta device net, se cambia
ESTANDAR PORTABLE CONVEYOR (SP-16)	20%	Falla de comunicación	(E) fuera de servicio sp-16 con divece net

Fuente: Minera Norte, 2020

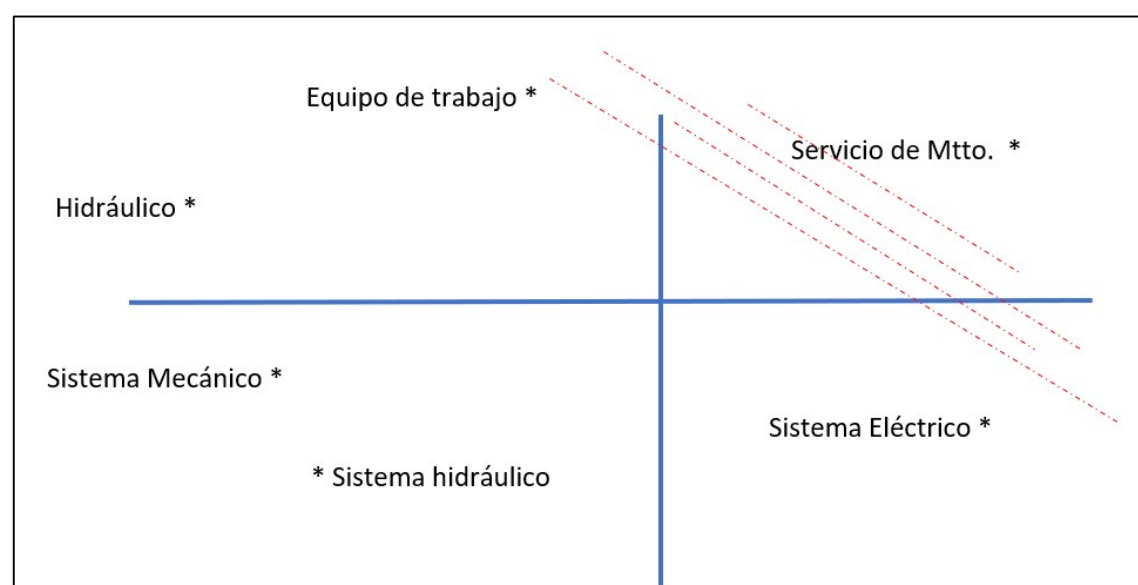
Tabla 2-4 Historial de Fallas detectadas en el Sistema Eléctrico (1/MTBF).
(Continuación)

HORIZONTAL FEED CONVEYOR (HF-01)	17%	Falla de comunicación	(E) fuera de servicio por falla tarjeta de comunicación device net.
ESTANDAR PORTABLE CONVEYOR (SP-15)	12%	Falla de comunicación	(E) f/s sp-15 por falla de comunicación device net
HORIZONTAL CONVEYOR (HC-01)	15%	Reparación Eléctrica/Instrumental	(E) f/s por falla en tarjeta device net
TRIPPER TRANSFER CONVEYOR (PT-01)	18%	Reparación Eléctrica/Instrumental	(E) fuera de servicio área por falla tarjeta device net
HORIZONTAL FEED CONVEYOR (HF-01)	16%	Reparación Eléctrica/Instrumental	(E) fuera de servicio por falla device net.
CORREA ALIMENTACION SILO CHANC. TERC.	42%	Reparación Eléctrica/Instrumental	(E) fuera de servicio falla en tarjeta procesador de señal dos
ESTANDAR PORTABLE CONVEYOR (SP-10)	15%	Reparación Eléctrica/Instrumental	(E) fuera de servicio falla en tarjeta de entrada de bomba unidad hidráulica.
CORREA TRANSPORTADORA PRINCIPAL 102	42%	Reparación Eléctrica/Instrumental	(E) fuera de servicio por alta temperatura descanso l/d polea tensora cabezal (no real).
HORIZONTAL FEED CONVEYOR (HF-01)	16%	Falla de Motor	(E) fuera de servicio por alta temperatura reductor posición #1
ESTANDAR PORTABLE CONVEYOR (SP-04)	12%	Reparación Eléctrica/Instrumental	(E) f/s por alta temperatura reductor
CORREA TRANSPORTADORA PRINCIPAL 102	43%	Falla de Motor	(E) cv 102 fuera de servicio por alta temperatura descanso # 1 motor # 3
CORREA TRANSPORTADORA DE APILAMIENTO	62%	Falsa Indicación	(E) f/s por alta t° desc 2 motor 3 no real.
CORREA TRANSPORTADORA PRINCIPAL 102	60%	Reparación Eléctrica/Instrumental	(E) fuera servicio por alta temperatura descanso # 1 motor # 1 no real.
CORREA ALIMENTACION SILO CHANC. TERC.	68%	Falla de Motor	(E) fuera de servicio por alta temperatura descanso 1 motor 1.
CORREA #1 ALIMENTADOR CHANC.SECUNDARIO	52%	Correa dañada	(S) f/s cv-111 por activación de sensor de corte de correa tipo bandeja
CORREA TRANSPORTADORA PRINCIPAL 103	75%	Sensor de daño a correa	(E) fuera de servicio cv-103 por activación de sensor de corte correa tipo bandeja (no real)
CORREA DE TRANSFERENCIA	78%	Falla de comunicación	(E) f/s por activación de sensor corte correa tipo bandeja

Fuente: Minera Norte, 2020

Los problemas más recurrentes de la planta son ocasionados por detenciones no programadas de operación y mantención eléctrica. Los principales obstáculos fueron provocados por la demora en la puesta en marcha de la segunda línea de aglomeración, la detección de fallas eléctricas en la correa 41-CV-13 (CV-162) y el mal funcionamiento de los empalmes de las correas transportadoras, lo que ocasiona inestabilidad a la planta impidiendo su normal operación.

Las fallas frecuentemente observadas que causan las paradas de planta están caracterizadas por fallas por diferencia de tensión, fallas de transformadores, activación espontanea de tilt switch chute traspaso, por señal errónea til switch descarga CV-153, activación no real de tilt switch, activación de sensor corte correa tipo bandeja, falla en tarjeta procesador de señal DCS, falla en ups transferencia # 1. Este primer análisis con el método de Jackknife resulta que el sistema más crítico o crónico reflejado en el diagrama es el Sistema Eléctrico. Según el histórico de fallas los equipos con mayor frecuencia de estas son Correa mineral curado, con un 88% de fallas, Correa Transportadora de apilamiento, con un 62% de fallas, Correa Alimentación Silo Chancador Terciario con un 68% de fallas, Correa Transportadora Principal 103 con un 75% y la Correa de transferencia con un 78%, esto se obtiene con 1/MTBF (Tiempo Medio entre Fallas).



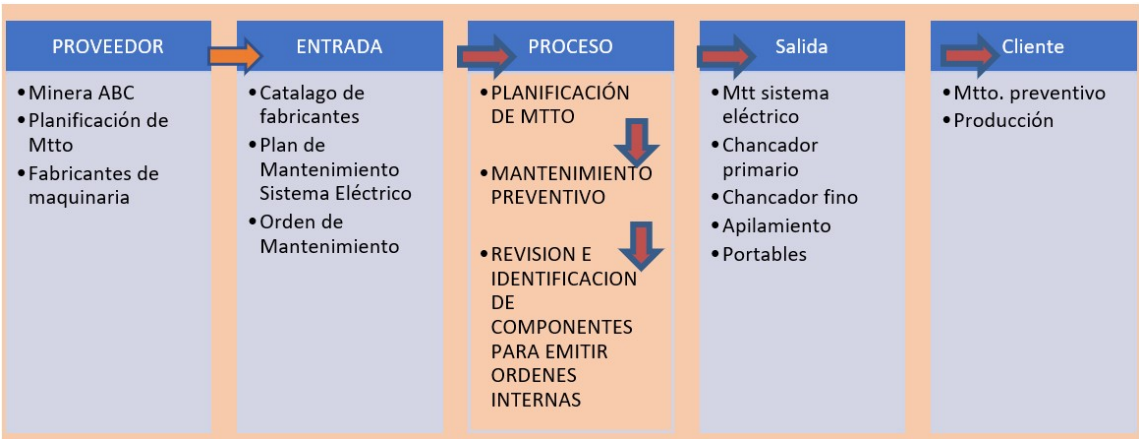
Fuente: Área de Confiabilidad Minera Norte, 2020

Diagrama 2-1 Diagrama Jack Knife

Dentro del gráfico Jack Knife, se puede distinguir que dentro de las fallas crónicas agudos se destacan Servicio Eléctrico; fallas a las cuales dentro de registros SAP se le asocian las desviaciones de tiempo que se encuentran en los equipos para realizar su mantenimiento preventivo, es decir cuando un equipo está planificado su mantenimiento preventivo se le asocian horas para realizarlo, lo cual no se está cumpliendo, lo que genera que pasadas las horas programadas el sistema lo deja como una detención imprevista.

2.2. **DIAGRAMA SIPOC PARA DESARROLLAR PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO**

A través del diagrama SIPOC ayuda a observar de forma sintética cuales son las entradas, proveedores, actividades, salidas y los clientes que involucran el proceso de mantenimiento del sistema eléctrico.



Fuente: Elaboración propia basado en información obtenida de la investigación.

Diagrama 2-2 Diagrama SIPOC

Este subproceso Proceso inicia por pedido del proceso de producción, el cual requiere mayor disponibilidad equipos. Con este antecedente, el asistente de mantenimiento planifica las tareas de mantenimiento que se realizarán anualmente, con la

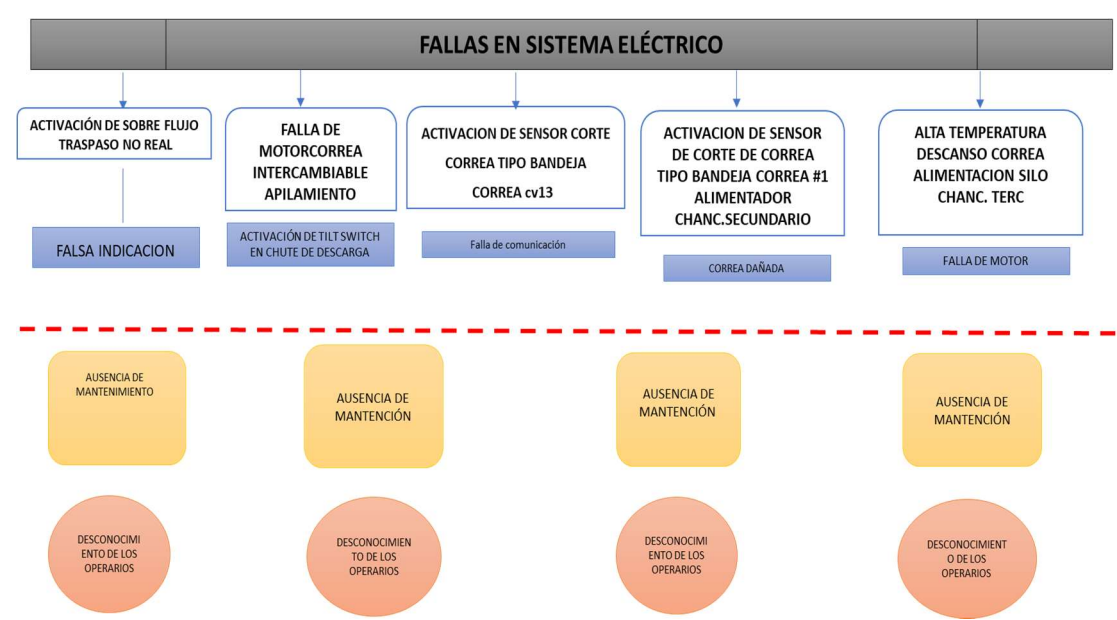
finalidad de evitar paros imprevistos de los equipos. Las labores de mantenimiento se planifican a partir de las tareas que se encuentran establecidas en los catálogos de estos equipos, de la misma forma se procede con los períodos de mantenimiento. Por lo tanto, el asistente de mantenimiento elabora un listado de tareas para cada máquina, con su respectiva frecuencia de mantenimiento. Son trabajos básicamente de ajustes y revisiones periódicas, que no implican cambios de repuestos o consumibles. Con el listado y frecuencias de mantenimiento, el asistente de mantenimiento coloca las mismas en el calendario anual, de esta manera genera un plan de mantenimiento provisional, que posteriormente es enviado a la jefatura de mantenimiento para su aprobación. Si es aprobado, se documenta el plan de mantenimiento final que se utilizará durante el año y que, posteriormente, será aplicado en el subproceso de mantenimiento preventivo. Este plan de mantenimiento servirá además para realizar el presupuesto anual del proceso de mantenimiento industrial, el mismo será enviado al proceso de contabilidad para ser aprobado.

Con un plan de mantenimiento aprobado, el asistente de mantenimiento evalúa semanalmente que tareas de mantenimiento se tienen programadas y las comparte con el personal de mantenimiento y producción. Para empezar las tareas del mantenimiento preventivo, el asistente de mantenimiento solicita el paro de la máquina al supervisor de producción. El personal de producción, antes de autorizar el paro de máquina, evalúa si esto no generará problemas con el cumplimiento del plan de producción.

La revisión e identificación de componentes para emitir ordenes internas inicia si se produce un paro no programado de alguna máquina; entonces el operador de máquina informa al supervisor de producción del inconveniente suscitado, el mismo que informa al asistente o supervisor de mantenimiento, ya sea del equipo mecánico o equipo eléctrico del problema con la máquina. El personal que recibe el mensaje acude a la máquina y analiza el problema, luego determina la causa del problema, para el caso que nos atañe el sistema eléctrico, para informar inmediatamente al equipo de mantenimiento correspondiente. Una vez que se estableció el tipo de daño, el equipo de mantenimiento direcciona a la persona o grupo de personas que atenderán la actividad encomendada por el cliente interno. Ya en la actividad se realizará el análisis del problema presente en la máquina o instalación. En este punto se puede generar una pausa al proceso de mantenimiento correctivo, porque el repuesto no puede estar disponible o tener que esperar prolongado para su entrega. Una vez que se dispone del repuesto solicitado, se ejecutan las actividades correctivas necesarias. Finalizadas las actividades de mantenimiento y verificando el correcto funcionamiento del sistema, se entrega este a su operador.

2.2.1. Aplicación del Análisis Causa Raíz

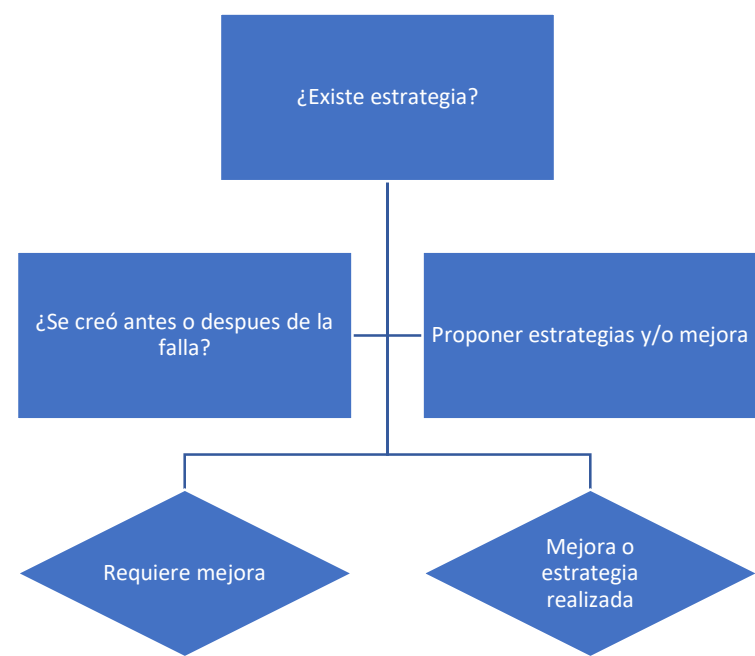
El Análisis Causa Raíz (ACR) consistió en analizar y determinar cuáles son los problemas y/o fallas recurrentes del sistema eléctrico del Área Seca La Caja Superior del árbol específica el problema identificado, y todos los modos o causas principales que han producido el problema. Dentro de la Caja Superior, los modos observados están ubicados en la segunda línea, directamente debajo del evento. Una vez determinado el problema e identificado las causas principales se comienza a bajar en el árbol de lógica a través de la realización de preguntas específicas de “¿Cómo puede ocurrir?” que ayudan a identificar y definir la causa del problema que se observa en la caja de arriba. En cada nivel del árbol se debe realizar dicha pregunta hasta llegar al punto de intervención humana inapropiada. A partir de este momento, la lógica cambia y se comienza a preguntar “¿Por qué?” puede ocurrir la intervención humana inapropiada. Bajando el árbol, se descubren los problemas latentes (o las causas raíz) del problema estudiado. Para realizar el árbol lógico fue necesario conformar un equipo de trabajo que identificó las formas en que puede presentarse el problema (modos de fallas), las causas probables del problema (Hipótesis), verificar las causas (demostración de las hipótesis) y buscar soluciones de las causas verdaderas del problema. A continuación, se muestra el resultado obtenido por el equipo de trabajo:



Fuente: Elaboración propia basado en información obtenida de la investigación.

Diagrama 2-3 Árbol Lógico de Fallas

La deficiencia de no tener un plan de mantenimiento mejorado y actualizado conforma la falla principal que presenta el sistema eléctrico del Área Seca de Minera Norte. Una vez identificados los componentes que fallan con sus equipos respectivos se revisa en el plan matriz de mantenimiento la existencia o no de estrategias que se hagan cargo de los modos de fallas detectados para cada componente que falla. Para esto se realiza un procedimiento lógico que sigue la siguiente estructura:



Fuente: Elaboración propia basado en información obtenida de la investigación.

Diagrama 2-4 Procedimiento lógico

La minera Norte en sus informes técnicos considera que al implementar esta nueva estrategia de mejora en plan matriz eléctrico se proyecta que, en el futuro, para el mismo periodo evaluado, se evitarán 19,83 horas de detención, considerando el valor de producción de 80.000 dólares por hora junto a un factor de utilización de 90%, se disminuyen las posibles pérdidas en 1.427.760 dólares.

**CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORAS AL PLAN MATRIZ DE
MANTENIMIENTO ELÉCTRICO**

3. **PROPUESTA DE MEJORAS AL PLAN MATRIZ DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO**

A continuación, se describe la propuesta general para el mejoramiento del plan matriz área electrica área seca.

3.1. **PROPUESTA DE MEJORAS Y EXPECTATIVAS AL PLAN MATRIZ DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO DEL ÁREA SECA EN LA MINERA NORTE**

El mantenimiento recomendado contribuirá a extender la vida útil y a garantizar la confiabilidad de los componentes. La realización de revisiones y ajustes a intervalos recomendados son de vital importancia, adicionalmente se adjunta carta Gantt con actividades relevantes programadas en el periodo de un año:

Tabla 3-1 Carta Gantt Actividades relevantes mejoras al plan matriz de mantenimiento eléctrico

ACTIVIDAD	INICIO DEL PLAN	DURACIÓN DEL PLAN	INICIO REAL	DURACIÓN REAL	PORCENTAJE COMPLETADO	PERIODOS MENSUALES											
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Revision plan matriz de mantenimiento eléctrico actual	1	1	1	1	0%												
Actualización de mantenimiento eléctrico de equipos Minera Norte	1	5	1	5	0%												
Levantamiento y actualización a nuevas tecnologías de mantenimiento, cambiar componentes discontinuados (actualización de repuestos)	2	4	2	4	0%												
analizar resultados en cada tarea	2	11	2	11	0%												
Determinar frecuencia de mantenimiento	1	8	1	8	0%												

Fuente: Elaboración propia basado en información obtenida de la investigación.

3.1.1. Descripción de las actividades previas

- Agrupar tareas por sistema (motor, auxiliar, etc.)
- Atacar un sistema al mes
- Estar pendiente de las hojas de ruta
- Evaluar si el equipo requiere detención para la actividad
- Evaluar la cantidad de personas para realizar la tarea
- Evaluar la cantidad de Horas Hombre para realizar la tarea

Los recursos que deben ser confirmados son los siguientes:

- Componentes
- Repuestos
- Bases de Traslado
- Herramientas Especiales
- Insumos
- Equipos de Apoyo
- Recursos Humanos (HH)
- Servicios de Terceros
- Instructivos Técnicos

3.1.2. Herramientas especiales y manuales

Antes de intervenir verificar la temperatura en los componentes del sistema, esta no debe ser superior a los 50°C. El equipo debe estar completamente detenido y acuíñado.

Las herramientas especiales y manuales necesarias serán:

- I. Caja de herramienta para trabajos mantención y Reparación (pulgada)
- II. Cono de señalización anaranjado
- III. Cadena plástica delimitar
- IV. Letrero señalética de advertencia
- V. Bastón luminoso bicolor
- VI. Pinza bloqueo mecánico
- VII. Candado de seguridad sistema de identificación
- VIII. Tester
- IX. Cámara fotográfica faena

3.1.3. Área Chancado

El área de Chancado es muy importante para el proceso productivo, a continuación, se desglosa las sugerencias para mejorar la operatividad y confiabilidad de los equipos.

3.1.3.1. Correa Transportadora Principal

Los cambios implican aumentar la frecuencia de mantenimiento programado debido al aumento progresivo de fallas y también realizar cambios de tecnologías de monitoreo más eficientes, trabajar en conjunto con personal sintomático o predictivo para el análisis estático y dinámico de los motores eléctricos determinar frecuencias de estos análisis por medio de los datos proporcionados por el departamento de confiabilidad, crear una hoja de calibración de instrumentos y verificación de equipos auxiliares según corresponda del motor existente de 298 kW por un nuevo motor de 373 kW, lo que implica además repotenciar el sistema motriz debido al incremento de las tensiones resultantes en la partida de la correa en atascamiento por mineral.

Por lo tanto, se adjunta el cálculo de potencia necesario para evitar atascamientos:

$$W = V \times I$$

- W=Potencia Mecánica
- V= Voltaje de red eléctrica
- I= Corriente eléctrica consumida por el motor eléctrico

Dado los datos anteriores se calcula potencia necesaria:

$$W = 3300 (V) \times 113(A)$$

$$W = 373.000 \text{ Watts} = 373 \text{ kW}$$

Todos estos datos son obtenidos de los sistemas de monitoreo eléctricos instalados en el sistema de control de procesos de planta de producción.

3.1.3.2. Correa CV-03

El moto-reductor presenta alta temperatura y se proyecta procesar mineral óxido apilado con un mayor contenido de fino, por lo tanto se debe mejorar la frecuencia de mantenimiento preventivo, instalar sistema de monitoreo de temperatura en línea con un sistema de alarmas que le indique en el sistema de control al operador cuando se observa

una temperatura anormal en el equipo, trabajar también con personal predictivo una ruta de frecuencia de análisis de vibraciones y alineamientos del equipo además se debe reemplazar el sistema motriz existente de 30 kW por uno de 55 kW.

Por lo tanto, se adjunta el cálculo de potencia necesario para evitar que el equipo este trabajando sobre su capacidad nominal y esto genere altas temperaturas en el equipo:

$$W = V \times I$$

- W=Potencia Mecánica
- V= Voltaje de red eléctrica
- I= Corriente eléctrica consumida por el motor eléctrico

Dado los datos anteriores se calcula potencia necesaria:

$$W = 400(V) \times 137,5 (A)$$

$$W = 55.000 \text{ W} = 55 \text{ kW}$$

3.1.3.3. Correa CV-04

No se requiere realizar cambios al sistema de accionamiento, en consideración que la correa además cuenta con motor de apoyo para las partidas de 112 kW.

3.1.3.4. Correa Alimentación Silo Chancador Terciario

Se debe repotenciar sistema de accionamiento de 447 kW a 522 kW, lo cual implica el reemplazo del motor por la capacidad de mineral procesado que en el último tiempo ha aumentado gradualmente a 6500 toneladas hora.

Por lo tanto, se adjunta el cálculo de potencia necesario para mover esa cantidad de mineral procesado:

$$W = V \times I$$

- W=Potencia Mecánica
- V= Voltaje de red eléctrica
- I= Corriente eléctrica consumida por el motor eléctrico

Dado los datos anteriores se calcula potencia necesaria:

$$W = 3300 (V) \times 167 (A)$$

$$W = 522.000 \text{ Watts} = 522 \text{ kW}$$

[illegible]

Diagrama 3-1 Área de Chancado

El área de Aglomerado es muy importante para el proceso productivo, a continuación, se desglosa las sugerencias para mejorar la operatividad y confiabilidad de los equipos.

Esta correa no requiere cambios debido a que operará normalmente con un flujo menor (1.650 ton/h) alcanzando el máximo de 3.300 ton/h cuando opere una sola línea de aglomeración.

Para alcanzar los 50.000 ton/día por la segunda línea de aglomeración este equipo requiere realizar calibraciones periódicas para mantener el tonelaje deseado diariamente

se propone una marcha blanca de calibración y analizar con inspecciones de la misma si hay desvíos en la calibración realizada, además de mejorar la frecuencia de mantenimiento a motores, análisis de desgaste de correa en conjunto con personal predictivo, todo esto debe ir de la mano con un seguimiento de mantenimiento programado más acotado hasta lograr obtener la frecuencia según de los datos obtenidos de las inspecciones realizadas. Repotenciar el motor eléctrico de 25 a 40 kW.

Por lo tanto, se adjunta el cálculo de potencia necesario para mover esa cantidad de mineral procesado:

$$W = V \times I$$

- W=Potencia Mecánica
- V= Voltaje de red eléctrica
- I= Corriente eléctrica consumida por el motor eléctrico

Dado los datos anteriores se calcula potencia necesaria:

$$W = 400 \text{ (V)} \times 100 \text{ (A)}$$

$$W = 40.000 \text{ Watts} = 40 \text{ kW}$$

3.1.4.3. Alimentador 40-FE-16

Este alimentador quedará descargando sobre la correa 40-CV-08, por lo que su longitud no requiere ser modificada, sin embargo, para alcanzar los 3.400 ton/h se requiere repotenciar el sistema motriz de 25 a 40 kW.

Por lo tanto, se adjunta el cálculo de potencia necesario para mover esa cantidad de mineral procesado:

$$W = V \times I$$

- W=Potencia Mecánica
- V= Voltaje de red eléctrica
- I= Corriente eléctrica consumida por el motor eléctrico

Dado los datos anteriores se calcula potencia necesaria:

$$W = 400 \text{ (V)} \times 100 \text{ (A)}$$

$$W = 40.000 \text{ Watts} = 40 \text{ kW}$$

3.1.5. Área Apilamiento

El área de Apilamiento es muy importante para el proceso productivo, a continuación se desglosa las sugerencias para mejorar la operatividad y confiabilidad de los equipo.

3.1.5.1. Correa 41-CV-11

Para la condición de diseño original (50.000 ton/día), la capacidad de la correa es 3.478 ton/h y velocidad 4,7 m/s, con lo cual la correa opera con un 77% de llenado demandando un consumo de potencia de 688 kW, es decir un 71% de la potencia instalada (970 kW). Para la alternativa de aumento de capacidad a 61.200 ton/día, la capacidad requerida por la correa aumenta a 4.287 ton/h. Para esta nueva condición de operación se plantea aumentar la velocidad de la correa a 5,2 m/s, con lo que se conseguirá que ésta opere con un 85% de llenado, demandando un consumo de potencia de 836 kW, es decir un 86% de la potencia actualmente instalada (970 kW). Producto de esta modificación de velocidad será necesario instalar un variador de velocidad (VDF) para controlar velocidad el equipo y filtrar corrientes de demanda que puedan provocar un funcionamiento no eficiente y derivar a una falla mayor del equipo. Además, deberá considerarse la modificación de los chutes de descarga con una mayor abertura en las descargas.

3.1.5.2. Correa 41-CV-12

Para la condición de diseño original (50.000 ton/día), la capacidad de la correa es 3.445 ton/h y velocidad 4,9 m/s, con lo cual la correa opera con un 73% de llenado demandando un consumo de potencia de 1.248 kW, es decir un 64% de la potencia instalada (1.940 kW). Para la alternativa de aumento de capacidad a 61.200 ton/día, la capacidad requerida por la correa aumenta a 4.241 ton/h. Para esta nueva condición de operación se plantea aumentar la velocidad de la correa a 5,2 m/s, con lo que se conseguirá que ésta opere con un 84% de llenado, demandando un consumo de potencia de 1.484 kW, es decir un 77% de la potencia actualmente instalada (1.940 kW). Producto de esta modificación de velocidad será instalar un variador de velocidad (VDF) para controlar velocidad el equipo y filtrar corrientes de demanda que puedan provocar un funcionamiento no eficiente y derivar a una falla mayor del equipo.

3.1.5.3. Correa 41-CV-13

Para la condición de diseño original (50.000 ton/día), la capacidad de la correa es 3.478 ton/h y velocidad 4,6 m/s, con lo cual la correa opera con un 78% de llenado demandando un consumo de potencia de 312 kW, es decir un 62% de la potencia instalada (500 kW). Para la alternativa de aumento de capacidad a 61.200 ton/día, la capacidad requerida por la correa aumenta a 4.287 ton/h. Para esta nueva condición de operación se plantea aumentar la velocidad de la correa a 5,2 m/s, con lo que se conseguirá que ésta opere con un 85% de llenado, demandando un consumo de potencia de 386 kW, es decir un 77% de la potencia actualmente instalada (500 kW). Producto de esta modificación de velocidad será instalar un variador de velocidad (VDF) para controlar velocidad el equipo y filtrar corrientes de demanda que puedan provocar un funcionamiento no eficiente y derivar a una falla mayor del equipo.

3.1.5.4. Correa 41-CV-14

Para la condición de diseño original (50.000 ton/día), la capacidad de la correa es 3.478 ton/h y velocidad 3,2 m/s, con lo cual la correa opera con un 71% de llenado demandando un consumo de potencia de 71 kW, es decir un 47% de la potencia instalada (150 kW). Para la alternativa de aumento de capacidad a 61.200 ton/h, la capacidad requerida por la correa aumenta a 4.287 ton/h. Para esta nueva condición de operación se plantea mantener la velocidad de la correa en 3,2 m/s, con lo que ésta operará con un 87% de llenado, demandando un consumo de potencia de 83 kW, es decir un 55% de la potencia actualmente instalada (150 kW). Por lo tanto, bajo esta condición no es necesario realizar modificaciones a la correa existente.

3.1.5.5. Correa 41-CV-15

Para la condición de diseño original (50.000 ton/h), la capacidad de la correa es 3.445 ton/h y velocidad 4,6 m/s, con lo cual la correa opera con un 78% de llenado demandando un consumo de potencia de 378 kW, es decir un 76% de la potencia instalada (500 kW). Para la alternativa de aumento de capacidad a 61.200 ton/día, la capacidad requerida por la correa aumenta a 4.241 ton/h. Para esta nueva condición de operación se plantea aumentar la velocidad de la correa a 5,2 m/s, con lo que se conseguirá que ésta opere con un 84% de llenado, demandando un consumo de potencia de 467 kW, es decir

un 93% de la potencia actualmente instalada (500 kW). Producto de esta modificación de velocidad será necesario instalar un variador de velocidad (VDF) para controlar velocidad el equipo y filtrar corrientes de demanda que puedan provocar un funcionamiento no eficiente y derivar a una falla mayor del equipo. Además, deberá considerarse la modificación de los chutes de descarga con una mayor abertura en las descargas.

3.1.5.6. Correa 41-CV-16

Para la condición de diseño original (50.000 ton/día), la capacidad de la correa es 3.445 ton/h y velocidad 3,2 m/s, con lo cual la correa opera con un 70% de llenado demandando un consumo de potencia de 70 kW, es decir un 47% de la potencia instalada (150 kW). Para la alternativa de aumento de capacidad a 61.200 ton/día, la capacidad requerida por la correa aumenta a 4.241 ton/h. Para esta nueva condición de operación se plantea mantener la velocidad de la correa en 3,2 m/s, con lo que ésta operará con un 86% de llenado, demandando un consumo de potencia de 83 kW, es decir un 55% de la potencia actualmente instalada (150 kW). Por lo tanto, bajo esta condición no es necesario realizar modificaciones a la correa existente.

3.2. NECESIDADES DE INSPECCIÓN

Dada la situación actual se toman datos de las inspecciones realizadas con las pautas existentes mejorando la frecuencia la cantidad de horas, cantidad de HH (Horas Hombre), esto implica un mejoramiento gradual para evitar mantenimiento correctivo sobre la operación, que es uno de los factores a mejorar con esta nueva planilla de mantenimiento matriz, a continuación, se adjunta planillas mejoradas, estos datos son proporcionados por el departamento de planificación eléctrica:

Tabla 3-2 Mantención Correa de transferencia

Tarea	Frecuencia	Personas	Horas	HH
Mantencion Paradas de Emergencia, alarmas de Partida	Semestral	2	5	10
Mantencion Motor	Anual	2	6	12
Mantencion Desalineamiento	Cuatrimestral	2	5	10
Mantencion Instrumentacion Reductor	Semestral	1	2	2
Mantencion VDF	Semestral	1	1	1
Mantencion Ventilador Motor	Semestral	2	1	2

Fuente: Elaboración propia basado en información obtenida de la investigación.

Tabla 3-3 Mantención Correa Transportadora de Apilamiento

Tarea	Frecuencia	Personas	Horas	HH
Mantención Caja Rotorica Motores 900KW	Bimensual	2	5	10
Mantención Actuador y Sensor Freno	Semestral	2	6	12
Mantención Instrumentación Reductores	Semestral	2	5	10
Mantención Motor/Partidor Huinche	Semestral	1	2	2
Mantención Sensores de Velocidad	Semestral	1	1	1
Mantención Sensores de Temperatura Poleas	Semestral	2	1	2
Mantención Paradas de Emergencia y Circuito Pullcord Cabeza	Semestral	2	5	10
Mantención Pullcord Cabeza 100-1200 Mts	Semestral	2	4	8
Mantención Pullcord Cola 1300-2400 Mts	Semestral	2	4	8
Mantención Desalineamientos Cabeza y Cola	Semestral	2	4	8
Mantención Corte Correa Tipo Lonja	Semestral	1	1	1
Mantención Corte Correa Tipo Bandeja	Semestral	1	1	1
Mantención Corte Correa Tipo Antena	Semestral	2	2	4
Mantención Caja Control Local Correa	Trimestral	1	1	1
Mantención Caja Control Local Huinche	Trimestral	1	2	2
Mantención Caja 6.6KV Motores 900KW	Semestral	2	6	12
Mantención Partidor Binario	Bimensual	2	5	10
Mantención Banco de Resistencias Partida	Anual	2	6	12
Mantención Carros Partidor Motores	Anual	2	5	10
Mantención Motor/Partidor Sist. Enfriamiento Reductor	Semestral	2	4	8
Mantención Motor/Partidor Sist. Lubricación Reductor	Semestral	1	2	2
Mantención Alarmas de Partida (Sirenas)	Semestral	2	6	12
Revisión Secuencia de Partida Correa	Anual	2	5	10

Fuente: Elaboración propia basado en información obtenida de la investigación.

Tabla 3-4 Mantención correa mineral curado

Tarea	Frecuencia	Personas	Horas	HH
Mantención Caja Rotorica Motores 42 Kw	Bimensual	2	5	10
Mantención Instrumentacion Reductores	Semestral	2	5	10
Mantención Sensores de Velocidad	Semestral	1	1	1
Mantención Sensores de Temperatura Poleas	Semestral	2	1	2
Mantención Paradas de Emergencia y Circuito Pullcord Cabeza	Semestral	2	5	10
Mantención Pullcord Cabeza	Semestral	2	2	4
Mantención Pullcord Cola	Semestral	2	2	4
Mantención Desalineamientos Cabeza y Cola	Semestral	2	2	4
Mantención Corte Correa Tipo Lonja	Semestral	1	1	1
Mantención Corte Correa Tipo Bandeja	Semestral	1	1	1
Mantención Corte Correa Tipo Antena	Semestral	2	2	4
Mantención Caja Control Local Correa	Cuatrimestral	1	1	1
Mantención Caja Control Local Huinche	Cuatrimestral	1	2	2
Mantención Caja 400 Volt 42 Kw	Semestral	2	4	8
Mantención CCM	Anual	2	5	10
Mantención Motor/Partidor Sist. Enfriamiento Reductor	Semestral	2	4	8
Mantención Motor/Partidor Sist. Lubricación Reductor	Semestral	1	2	2
Mantención Alarmas de Partida (Sirenas)	Semestral	2	2	4
Revisión Secuencia de Partida Correa	Anual	2	1	2

Fuente: Elaboración propia basado en información obtenida de la investigación.

Tabla 3-5 Mantención Correa intercambiable de apilamiento

Tarea	Frecuencia	Personas	Horas	HH
Mantención Unidad Hidraulica	Cuatrimestral	2	5	10
Mantención Correa	Cuatrimestral	2	6	12
Mantención Sistema Traslacion	Cuatrimestral	2	5	10
Mantención Sistema Auxiliar/Potencia	Cuatrimestral	2	4	8

Fuente: Elaboración propia basado en información obtenida de la investigación.

3.3. NECESIDADES DE CAPACITACIÓN

En este aspecto a considerar la capacitación toma relevancia, ya que se identifica que en algunos casos hay desconocimiento en operación, equipamiento y sistemas de gestión los cuales son primordiales para mantener una linealidad entre el programa de mantenimiento y la confiabilidad de los equipos, que en algunos puntos se asocia a herramientas de capacitación respecto a un tema de mantenibilidad, por lo tanto esto parte de mejorar las necesidades de conformar un mantenimiento programado eficiente.

Tabla 3-6 Contenido del Curso de Planificación y Programación del Mantenimiento

Curso: Planificación y Programación del Mantenimiento	
Duración	Horas
Costos	500.000,00 CLP por participante
Presentación	El presente curso ha sido diseñado para proveer a los participantes el conocimiento de las herramientas necesarias para una planificación y programación adecuada de las tareas de mantenimiento acorde a las mejores prácticas de clase mundial y a los nuevos estándares / requerimientos internacionales (bsi PAS 55-ISO 55000)
Objetivos	Al concluir el curso los participantes estarán en capacidad de: Reconocer los elementos de fijación de prioridades para el mantenimiento de los activos. Conocer cómo realizar un plan de mantenimiento. Conocer los elementos de control de recursos y servicios requeridos para la ejecución del plan de mantenimiento. Conocer el proceso de programación de mantenimiento. Conocer el proceso de medición, control y mejoramiento del mantenimiento. Conocer los indicadores claves de mantenimiento. Conocer los elementos claves de un sistema de gestión de Mantenimiento acorde a Normas Internacionales. Conocer los principios de optimización de mantenimiento por costo riesgo y de optimización de paradas de Planta

Fuente: Elaboración propia basado en información obtenida de la investigación.

Tabla 3-7 Contenido del Curso de Planificación y Programación del Mantenimiento.
(Continuación)

Metodología	El curso se basa en presentaciones teóricas, discusiones abiertas y amenos talleres interactivos adecuados a las necesidades del grupo. Se presentarán las técnicas y metodologías, y se realizarán exposiciones de casos reales. Se harán talleres donde los participantes podrán aportar su experiencia al resto del grupo y poner en práctica lo expuesto por el relator. El estilo del seminario permite la entrega y discusión de temas complejos y avanzados en un ambiente informal y confortable.
Programa	INTRODUCCIÓN A PAS 55 E ISO 55000 Definiciones básicas de mantenimiento Tipos de mantenimiento Características y costos de cada tipo de mantenimiento Selección del mantenimiento más adecuado ¿Por qué debemos planificar y programar en mantenimiento? Planificación Definición y Objetivos. Tipos de planificación (estratégica, táctica y operativa). Funciones y perfil del Planificador Inventario y codificación de equipos (Clases, familias y categoría de equipos). Identificación de equipos críticos (Modelos de Criticidad) Estrategia de mantenimiento Elaboración de planes efectivos ¿Qué? Y ¿cómo? Estimación de tiempos y recursos Construyendo planes genéricos Frecuencias óptimas de un plan de mantenimiento Estándares de trabajo

	Gestión de los repuestos, materiales y servicios Elaboración y Control del Presupuesto de Mantenimiento. Programación Definición y Objetivos. Funciones y perfil del Programador Programación Diaria y Semanal. Herramientas de programación. Criterios de programación. Priorización de los trabajos de mantenimiento (Modelos de priorización). Acuerdos y formalización del programa. Trabajos de emergencia. Control del Backlog. Planificación y programación de paradas de planta y reparaciones mayores. Estructura organizacional. Ejecución y control de la parada. Plan de mejoramiento continuo (Lecciones aprendidas). Reportes y análisis de resultados (Balanced scorecard, Indicadores e Índices, Reportes Gerenciales).
--	---

Fuente: Elaboración propia basado en información obtenida de la investigación.

Tabla 3-8 Contenido del Curso Mantenimiento de Sistemas Eléctricos Instrumentales y Control Industrial

Curso: Curso Mantenimiento de Sistemas Eléctricos Instrumentales y Control Industrial	
Duración	15 horas
Costos	500.000,00 CLP por participante
Presentación	Los participantes al finalizar este curso serán capaces de realizar el mantenimiento básico, preventivo y correctivo, de componentes eléctrico-instrumentistas de equipos industriales y móviles, los que pueden incorporar altos niveles de tecnología y automatización, tanto en planta, en faenas o en áreas de mantenimiento (talleres), asegurando la confiabilidad operacional de los activos y su óptima capacidad productiva, de acuerdo a estándares de seguridad, control medioambiental y costos.
Objetivos	Al finalizar el curso taller, los participantes estarán capacitados para: Comprender los elementos claves de la Confiabilidad Operacional Diagnosticar la confiabilidad en sistemas eléctrico Mejorar la confiabilidad operacional aplicables a los sistemas eléctricos
Metodología	El curso se basa en presentaciones teóricas, discusiones abiertas y amenos talleres interactivos adecuados a las necesidades del grupo. Se presentan las técnicas y metodologías mediante exposiciones de casos reales. Se realizan talleres en los que los participantes podrán aportar su experiencia al resto del grupo y poner en práctica lo expuesto por el facilitador. El estilo del curso-taller permite la entrega y discusión de temas complejos y avanzados en un ambiente informal y confortable.
Programa	Módulo 1: Actualización de Conocimientos relacionados a los Aspectos Críticos en la Mantención Base Eléctrico-Instrumentista de Equipos Industriales En este módulo se abarcarán los procesos involucrados al realizar el mantenimiento base eléctrico – instrumentista a equipos e instalaciones, de acuerdo con procedimientos y normativa vigente. Módulo 2: Mantención Base de Elementos de Control de Procesos Industriales

	El objetivo de este módulo es realizar el mantenimiento base de elementos de control de procesos industriales de acuerdo a procedimientos y normativa vigente. Módulo 3: Operación de Tecnologías de la Información en Ambientes Industriales Los contenidos de este módulo tendrán como objetivo operar elementos de tecnologías de la información de acuerdo a procedimientos y manuales del fabricante. Módulo 4: Elaboración de Reportes de Mantenimiento mediante Soportes Conocidos En este módulo los participantes aprenderán a elaborar reportes de mantenimiento de acuerdo con procedimientos de trabajo definidos. Módulo 5: Preparación y Apoyo en el Montaje de Estructuras y Equipos Industriales El objetivo de este módulo se encuentra orientado a apoyar en labores de traslado y de preparación para el montaje de estructuras y equipos industriales de acuerdo con procedimientos y normativa vigente.
--	---

Fuente: Elaboración propia basado en información obtenida de la investigación.

3.4. COSTOS DE CAPACITACIÓN

Los costos de capacitación necesarios serán considerados a razón de 12 operarios por turno, con la existencia de 4 turnos, en total la capacitación será estimada para 48 operarios.

Tabla 3-9 Costo de Cursos de Capacitación

Curso	Costo	Número De Participantes	Total
Planificación y Programación del Mantenimiento	480.000,00 por participante	48	23.040.000,00
Confiabilidad Operacional de Sistemas Eléctricos	620.000,00 por participante	48	29.760.000,00

Fuente: Elaboración propia basado en información obtenida de la investigación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- I. Las fallas frecuentemente observadas que causan las paradas de planta están caracterizadas por fallas por diferencia de tensión, fallas de transformadores, activación espontanea de tilt switch chute traspaso, por señal errónea til switch descarga cv153, activación no real de tilt switch, activación de sensor corte correa tipo bandeja, falla en tarjeta procesador de señal DCS, falla en ups transferencia # 1. Este primer análisis con el método de Jackknife resulta que el sistema más crítico o crónico reflejado en el diagrama es el Sistema Eléctrico.
- II. El mejoramiento y actualización del plan de mantenimiento conforma la falla principal que presenta el sistema eléctrico del Área Seca de Minera Norte. Una vez identificados los componentes que fallan con sus equipos respectivos se revisa en el plan matriz de mantenimiento la existencia o no de estrategias que se hagan cargo de los modos de fallas detectados para cada componente que falla.
- III. Los problemas más recurrentes de la planta son ocasionados por detenciones no programadas de operación y mantención eléctrica. Los principales obstáculos fueron provocados por la demora en la puesta en marcha de la segunda línea de aglomeración, la detección de fallas eléctricas en la correa 41-CV-13 (CV-162) y el mal funcionamiento de los empalmes de las correas transportadoras, lo que ocasiona inestabilidad a la planta impidiendo su normal operación.
- IV. Las fallas frecuentemente observadas que causan las paradas de planta están caracterizadas por fallas por diferencia de tensión, fallas de transformadores, activación espontanea de tilt switch chute traspaso, por señal errónea til switch descarga cv153, activación no real de tilt switch, activación de sensor corte correa tipo bandeja, falla en tarjeta procesador de señal DCS, falla en ups transferencia # 1.

- V. Este análisis con el método de Jackknife resulta que el sistema más crítico o crónico reflejado en el diagrama es el Sistema Eléctrico. Según el histórico de fallas los equipos con mayor frecuencia de estas son Correa mineral curado, con un 88% de fallas, Correa Transportadora de apilamiento, con un 62% de fallas, Correa Alimentación Silo Chancador Terciario con un 68% de fallas, Correa Transportadora Principal 103 con un 75% y la Correa de transferencia con un 78%, resultados obtenidos de la fórmula $1/MTBF$ de cada equipo según análisis de fallas.
- VI. A través de un Diagrama SIPOC se explicaron los límites, el punto de inicio correspondió a la Planificación de Mantenimiento y el punto final al Mantenimiento preventivo del sistema eléctrico, seguidamente mediante el análisis Causa- Raíz se visualizaron los impactos que provocan fallas en el funcionamiento del equipo y estas obedecen a causas físicas caracterizadas por fallas en sistema eléctrico y fallas humanas por necesidades de capacitación para enfrentar la contingencia de dicha falla

Recomendaciones

- I. Se recomienda realizar un análisis y discusión en el área de operaciones mina para consensuar la disminución en los tiempos de detención por fallas provocadas por cambio de turno, equipo de carguío, mineral con sobre tamaño, mineral fino, etc. Todas estas dificultades detectadas han de generar la formación de un equipo de trabajo en esta área, el que se responsabilizará principalmente, de asegurar la disponibilidad de los equipos, para dar continuidad a la alimentación del chancador primario y mantener el nivel del silo en un 70% o más.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN

Duffua. (2002). *Sistemas de mantenimiento, planeación y control*. Wiley. México: Editorial LIMUSA.

ECOPETROL. (s/a). *Manual para la Aplicación de la Metodología de Análisis de Causa Raíz para la Solución de Problemas*.

García. (2017). *Mantenimiento Predictivo (parte 4) Revista ElectroMagazine*.

Latino, A. (2002). *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. North Carolina: Aladon LLC.

RELIABILITYWEB. La cultura de la confiabilidad operacional [en línea]
<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/la-cultura-de-la-confiabilidad-operacional>