

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

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA CABLE
ENLACE 33 KV EN SUB-ESTACIÓN PRINCIPAL EN MINA SUBTERRÁNEA

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

Alumno:

Sr. Mauricio Bravo Vargas

Profesor Guía:

Mg, Ing. Pablo Andrés Duque Ramírez

RESUMEN

Keywords: PLAN DE MANTENIMIENTO – CABLES ALIMENTADORES – MODO DE FALLA

En este documento se busca proponer un plan de mantenimiento para la minera El Teniente, la cual cuenta con una nula mantención a sus cables alimentadores. Para esto es necesario realizar una serie análisis e investigaciones que ayuden a respaldar este trabajo, lo cual se desglosa en tres capítulos.

El primer capítulo entrega toda la información necesaria para entrar en contexto con la empresa y la problemática en cuestión, mediante los antecedentes generales de esta, datos históricos de las pseudo mantenciones realizadas hasta la actualidad. Además de mostrar los tipos de mantenimiento existentes para llegar a un mejor resultado.

Luego se procede a detallar el mantenimiento que se está llevando a cabo en la mina para así luego de un análisis completo poder establecer el mejor plan de mantenimiento para los cables alimentadores 33kV. También se mencionan todos los requerimientos solicitados por la IEEE.

Para finalizar, en el tercer capítulo se da a conocer la evaluación técnico-económica realizada para este proyecto, en donde se entregan todos los análisis relacionados con los temas financieros. En el análisis realizado se puede destacar que al implementar esta propuesta, se podrían ahorrar en los próximos 3 años casi un 95% de lo gastado en los 3 años pasados, además se argumenta que las detenciones por las fallas ocurridas, al ser imprevistas generan demasiados problemas anexos al proceso productivo, con las mantenciones programadas se disminuyen las detenciones gradualmente en el tiempo, llegando a un 70% menor a los valores ya conocidos, con el fin de descubrir la factibilidad de llevar a cabo el nuevo plan de mantenimiento al interior de la mina.

ÍNDICE

RESUMEN

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DE PLANES DE MANTENIMIENTO	3
1. ANÁLISIS DE PLANES DE MANTENIMIENTO.....	4
1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	4
1.2. CABLES ALIMENTADORES 33 KV	5
1.3. JERARQUIZACIÓN	7
1.4. EQUIPO CRÍTICO	9
1.4.1. Planes de mantenimiento	12
CAPÍTULO 2: PLAN DE MANTENIMIENTO	15
2. PLAN DE MANTENIMIENTO.....	16
2.1. MANTENIMIENTO.....	16
2.1.1. Cables eléctricos 33 kV.....	17
2.1.2. Norma IEEE.....	19
2.2. PRUEBAS DE MANTENIMIENTO.....	19
2.2.1. Descargas parciales	20
2.2.2. Pruebas VLF	23
2.2.3. Inspecciones visuales	24
2.3. ANÁLISIS MODO DE FALLA.....	27
CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA	34
3. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA	35
3.1. ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO	35
3.1.1. Análisis Económico.	35
3.1.2. Alcance Financiero	42
3.1.3. Análisis Financiero	43

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....48

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN 49

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 2-1 Estructura eléctrica, transmisión energía a interior mina.....16

Diagrama 2-2 Equipo descargas parciales y conexionado.....22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Distribución de Divisiones de Codelco Chile. 4

Figura 1-2 SAP PM Sistema integrado de mantenimiento 7

Figura 1-3 Extracto pauta mantenimiento subestación eléctrica.....8

Figura 2-1 Partes de un cable de poder clase 33 kV 18

Figura 2-2 Daños en cables de poder en 33 kV 21

Figura 2-3 Daños en cables de poder en 33 kV 23

Figura 2-4 Modo de instalación equipo VLF en terreno.....24

Figura 2-5 SNV mina subterránea ubicación cables 33 kV 25

Figura 2-6 SNV mina subterránea ubicación cables 33 kV 26

Figura 3-1 Factura activos asociados a la mejora, facilitados por el área de confiabilidad.
.....44

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1 Comparativa grafica entre costos operacionales con la mejora y sin la
mejora.....40

Gráfico 3-2 Consolidado de detenciones sin mejora y con mejora.....41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Extracto análisis criticidad cables 33 kV mina subterránea 9

Tabla 1-2 Evaluación de impacto..... 11

Tabla 1-3 Criterio para definir consecuencia 12

Tabla 1-4 Ocurrencia de falla de un sistema 12

Tabla 2-1 Componentes de un cable 33 kV Media Tensión. 18

Tabla 2-2 Voltajes y tiempos de pruebas a cables eléctricos media tensión..... 22

Tabla 2-3 Modos de falla cable alimentador 33 kV 28

Tabla 2-4 Voltajes de prueba VLF recomendados por IEEE 400.2 – 2013..... 29

Tabla 2-5 Datos 29

Tabla 2-6 Prueba VLF 30

Tabla 2-7 Pauta Descargas Parciales..... 31

Tabla 2-8 Datos 31

Tabla 2-9 Prueba Descargas Parciales 31

Tabla 2-10 Datos 32

Tabla 2-11 Inspección Visual..... 33

Tabla 3-1 Resumen detenciones 2020-2022, media tensión. 36

Tabla 3-2 Consolidados de cantidad de detenciones por mes en promedio anual 2020-2023..... 36

Tabla 3-3 Promedio de HH mensual por un trabajador al año, 2020-2023 37

Tabla 3-4 HH Real por detención en promedio mensual por año, 2020-2023 37

Tabla 3-5 Horas de detenciones y costos de estas en UF entre los años 2020-2023 38

Tabla 3-6 Proyección con la mejora entre los años 2024-2026 39

Tabla 3-7 Costos en UF de las detenciones sin y con la mejora, cuadro comparativo de la propuesta de valor 39

Tabla 3-8 Herramientas pesadas según SII 45

Tabla 3-9 Tabla depreciación asociada al AF, SII 45

Tabla 3-10 Comprobador de cuotas, simulador SERNAC 45

Tabla 3-11 Datos para el cálculo de la tabla de amortizaciones, cupta calculada con la formula pago, valores en UF 46

Tabla 3-12 Tabla de amortizaciones con cuota e intereses fijo. 47

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS

AF	:	Activo fijo
CODELCO	:	Corporación Nacional del Cobre
FMECA	:	Análisis modo de fallos, efecto y criticidad
GMIN	:	Gerencia mina
IEEE	:	Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos
NCh	:	Norma Chilena
NNM	:	Nuevo Nivel Mina
RCM	:	Mantenimiento centrado en confiabilidad
SAP	:	Desarrollo de programas de sistemas de análisis
SERNAC	:	Servicio Nacional del Consumidor
SII	:	Servicio de Impuestos Internos
SNV	:	Sub-Nivel de Ventilación
SNV	:	Sub-nivel de ventilación
TPM	:	Tasa de política monetaria
VLF	:	Muy Baja Frecuencia
XLPE	:	Etileno Propileno con Polietileno Reticulado

SIMBOLOGÍA

\$	:	Peso
%	:	Porcentaje
CLP	:	Peso Chileno
HH	:	Hora Hombre
Hz	:	Hertz
Km	:	Kilómetros
kV	:	Kilo Volts
m	:	Metro
UF	:	Unidad de Fomento
USD	:	Dólar

INTRODUCCIÓN

Codelco Chile División El Teniente cuenta con cables alimentadores de 33 kV en media tensión los cuales cumplen el rol de mantener con energía los distintos sectores productivos de la mina, el principal problema en esta es la nula realización de una correcta mantención debido a que no existe un plan de mantenimiento, por lo anterior nace la necesidad de crear un plan de mantenimiento adecuado para preservar de mejor forma dichos cables alimentadores. En el presente trabajo de titulación se dará a conocer el plan de mantenimiento establecido para la mina, en donde se incluyen pruebas específicas y análisis de los resultados.

Las ubicaciones técnicas no tienen historial de mantenciones, fallas y/o reparación alguna. Se cuenta con una data de históricos que maneja el área de subestaciones y redes eléctricas que está encargado de mantener todos los activos del proceso eléctrico en media tensión, con estos datos se comienza la metodología para evaluar la criticidad de equipos, generando un análisis de criticidad de estos equipos para determinar a cuál activo enfocarse y generar una estrategia de mantenimiento.

Para generar tiempos de respuesta más eficientes y una correcta distribución de la mano de obra, se propone generar un plan de mantenimiento el cual cuente con lo mínimo que la norma IEEE solicita, es decir, pruebas eléctricas no destructivas tales como: descargas parciales, tangente delta y medición de aislación. Al aplicar los requerimientos establecidos en la norma se cumple con lo mínimo para saber el envejecimiento del cable, los daños internos que posee y la durabilidad estimada por la prueba entre otros factores.

Con todo lo anterior se espera contar con información relevante para tomar decisiones en el proceso eléctrico.

OBJETIVO GENERAL

Proponer plan de mantenimiento a alimentador 33 kV mina subterránea utilizando las herramientas del Mantenimiento centrado en confiabilidad disminuyendo la frecuencia de falla.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar equipó crítico mediante matriz de riesgo, analizando planes de mantenimiento.
- Establecer plan de mantenimiento mediante análisis de modos de fallos, efectos y criticidad, priorizando acciones de mantenimiento.
- Desarrollar análisis viabilidad del proyecto, mediante análisis técnico económico para ver la factibilidad del proyecto.

CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DE PLANES DE MANTENIMIENTO

1. ANÁLISIS DE PLANES DE MANTENIMIENTO

El presente capítulo entrega antecedentes relevantes para la comprensión del trabajo de título, en este se incluye información general sobre la empresa, se dan a conocer los cables alimentadores y los tipos de planes de mantenimiento existentes.

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

Codelco, oficialmente conocida como Corporación Nacional del Cobre de Chile, es una empresa estatal chilena dedicada a la exploración, desarrollo, producción y comercialización de cobre y subproductos relacionados. Fundada en 1976, Codelco es considerada la empresa minera de cobre más grande del mundo y es un pilar fundamental de la economía chilena.

Es el primer productor de cobre del mundo y una de las compañías más rentables de la industria. Es la principal empresa y motor del desarrollo de Chile. A la fecha cuenta con ocho divisiones, las cuales se definen como todas aquellas instalaciones y/o yacimientos donde se llevan a cabo operaciones de la gran minería del cobre. (CODELCO, 2024)

En la figura 1-1 se observa la ubicación de las divisiones de Chuquicamata, Radomiro Tomic, Ministro Hales, Gabriela Mistral, Salvador, Andina, Ventanas (Fundición y Refinería) y El Teniente, las cuáles se localizan en cuatro regiones de Chile.



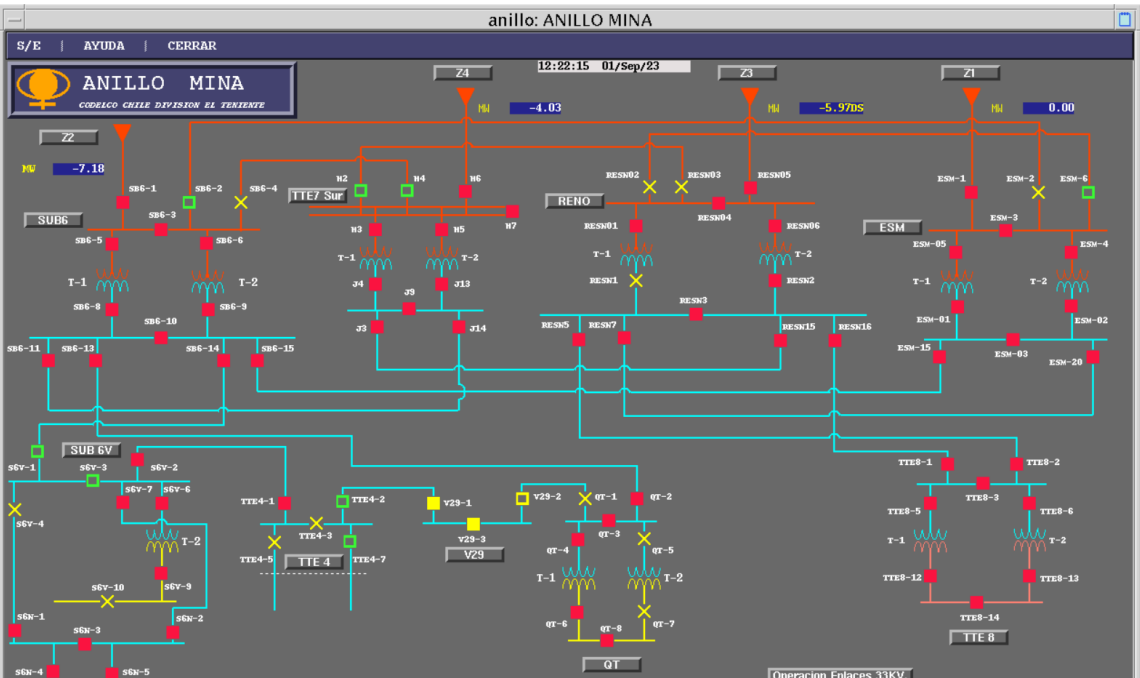
Fuente: Pagina web Codelco

Figura 1-1 Distribución de Divisiones de Codelco Chile.

1.2. CABLES ALIMENTADORES 33 KV

Los cables alimentadores de la mina se encuentran en los distintos lugares de la mina subterránea, siendo estos propensos a ser dañados por los distintos procesos mineros como lo son la reducción secundaria, traslado de material en nivel acarreo, incorporación de área según definiciones 2024 (se propone incorporar unos 20 km de túneles que suplirán 20 años más de explotación minera), que se ejecutan en el interior de la mina, esto no asegura la que el cable pueda sufrir daños estructurales por las labores que desempeñan los diversos procesos productivos, para esto se cuenta con cables enlaces los cuales cumplen la función de tener siempre otro cable alimentador que cumplirá la función de mantener el sistema estable, en funcionamiento en caso que ocurra alguna falla en el sistema.

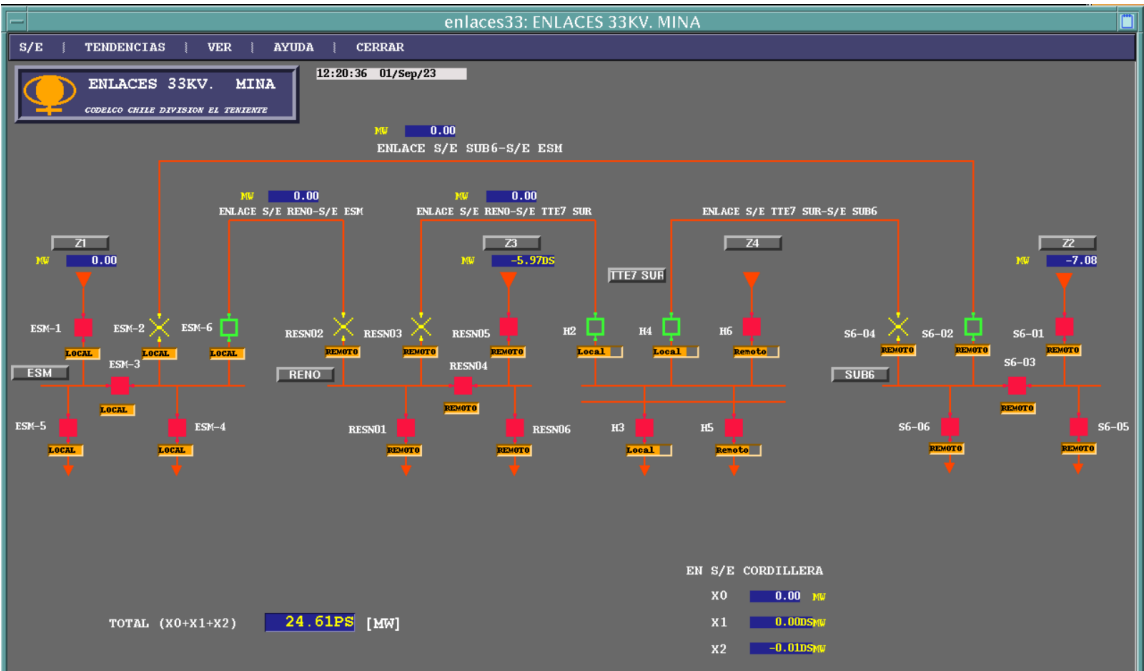
El sistema eléctrico es compuesto por un anillo en 33 kV y otro anillo en 13.8 kV, esta estrategia está definida para poder mantener el sistema eléctrico estable respecto a los consumos generados por los distintos equipos mineros que requieren de servicio eléctrico. Este sistema este compuesto por 4 alimentadores principales llamados Z-1, Z-2, Z-3 y Z-4, los cuales energizan de manera fija cada nivel de la mina para suministrar energía eléctrica para los distintos procesos mineros, el anillo se ve de la siguiente forma:



Fuente: Sistema SCADA Subestaciones principales.

Diagrama 1-1 Sistema SCADA cables enlaces de respaldo en S/E Principales

Como se aprecia en el diagrama 1-1 cada uno de los cables alimenta un sector definido, además se encuentran con un anillo entre ellos por si fallara alguno de los alimentadores principales, esta estrategia fue definida por el área de ingeniería mina, ya que son equipos fundamentales para el proceso productivo minero. Estos cables transportan 33 kV de energía para alimentar transformadores que bajan su tensión para poder entregar energía a equipos de baja tensión que requieran para poder continuar con el proceso productivo, es de tal importancia mantener estos equipos en servicio dentro de la mina que pasa a ser un activo de alta importancia dentro de la organización. Existe también como se menciona anteriormente, un anillo el cual da más confiabilidad al sistema para poder dar el mejor servicio al área productiva, a continuación, se muestra en la imagen el anillo actual que se encuentra en funcionamiento en este momento en la mina subterránea:



Fuente: Sistema SCADA enlaces Subestaciones principales

Diagrama 1-2 Sistema SCADA enlaces 33 kV mina subterránea

En el diagrama 1-2 se observan los enlaces en 33 kV que existe en el sistema que funciona actualmente en la mina subterránea estos generan un anillo el cual fue diseñado para tener un respaldo en cada una de las subestaciones eléctricas principales, un segundo cable que pueda energizar en caso de cualquier eventualidad que pueda ocurrir.

1.3. JERARQUIZACIÓN

La jerarquización en un sistema eléctrico en una mina como El Teniente es crucial para garantizar un suministro seguro y eficiente. El área de proyecto define que existen 4 alimentadores principales en la mina subterránea, los cuales se encuentran en operación, en el sistema global de la mina y se encuentra en desarrollo la mina Teniente 9, la cual trae como proyecto eléctrico dos alimentadores más que se acoplaran al sistema actual que se encuentra en funcionamiento.

Con esta nueva estructura se aumentará de cuatro a seis alimentadores en 33 kV, a los cuales se les aplicaran las mismas propuestas de mantenimiento de este proyecto.

La estructura que se cuenta hoy en SAP es la generación de ubicaciones técnicas, de los cuatro cables 33 kV actuales que se encuentran en operación, estos no cuentan con ningún tipo de información que ayude a la creación de una matriz como lo son las órdenes de trabajo o contar con materiales cargados entre otras cosas.

•	TMIN-INP-DAT-CZ1	CABLE ALIM. Z1 33KV
•	TMIN-INP-DAT-CZ2	CABLE ALIM. Z2 33KV
•	TMIN-INP-DAT-CZ3	CABLE ALIM. Z3 33KV
•	TMIN-INP-DAT-CZ4	CABLE ALIM. Z4 33KV

Fuente: Sistema SAP pautas generadas a alimentadores 33 kV.

Figura 1-2 SAP PM Sistema integrado de mantenimiento

Actualmente al no existir una pauta de mantenimiento lo que se realiza es una inspección visual al cable alimentador con una frecuencia de 6 meses, esta se realiza desde el nivel de piso a una altura desde los 3 m hasta 7 m de altura lo cual dificulta la inspección, estos cables tienen una longitud que desde los 4 km hasta los 6 km.

La frecuencia descrita anteriormente no está en ningún plan matriz, la organización toma esto como referencia para la ejecución del plan de mantenimiento que tienen asignadas las subestaciones, el plan que se ejecuta como guía es “Mantenimiento mensual de subestación principal”, y en uno de los ítems de la mantención hace referencia al estado de los cables, a continuación, el extracto de la inspección realizada:

Pauta de Mantenimiento Mensual Subestacion Principal Subestación			
PROYECTO MGA2020 CODELCO DIVISION EL TENIENTE			
#/S/E Principales/S/E #050 TTE-SUB6			
Contrato		4600013927	
Area/Lugar		#/S/E Principales	
Equipo/ Actividad		S/E #050 TTE-SUB6	
Fecha		2023-08-25 9:00	
Turno		Día:	
Hora		Inicio:	
		Noche:	
		Termino:	

DOCUMENTO	REV.
106706931	A

Plano Unilineal SE	VALOR	OBSERVACIONES
(Subestación)		

Actividades Generales Iniciales Sobre la Subestación	EJECUTADO	OBSERVACIONES
Realizar ART	X	
área de distribución y planificación.	X	
Limpiar el Piso al interior de la Subestación	X	
Segregación de Rises y/o Materiales Inflamables al interior de la Subestación.	X	
Verificar estado de pretilles y pozos de drenaje; si están con suciedad limpiar.	X	
un terminal de la malla de la mima S/E, si se encuentra anomalía, programar reparación.	X	

Actividades de Inspección de Hallazgos sobre la Subestación	VALOR	OBSERVACIONES
(Subestación)		
Estado Libro de Bloqueo	En Buen Estado	
Estado demarcación Energía Incidental	Presente	
Estado Plano Físico Unilineal Eléctrico	Presente	
Estado Comunicador Telefónico	Normal	
Estado Acceso a SE	ormal y sin Obstrucción	
Estado Techo	Buen Estado	
Estado Paredes	Buen Estado	
Nivel de Filtración Interior	Nulo	
Estado Cables Energizados	Normal	
Nivel de Materiales Rise	Nulo	

Fuente: Procedimiento mantenimiento subestación principal, empresa VERTICE.

Figura 1-3 Extracto pauta mantenimiento subestación eléctrica

En esta pauta de mantención se puede apreciar lo descrito, no existe un plan de mantenimiento a los cables eléctricos de 33 kV, las ubicaciones técnicas no tienen historial de mantenciones, fallas y/o reparación alguna. Se cuenta con una data de históricos que maneja el área de subestaciones y redes eléctricas que está encargado de mantener todos los activos del proceso eléctrico en media tensión, con estos datos se comienza la metodología para evaluar la criticidad de equipos, generando un análisis de criticidad de estos equipos para determinar a cuál activo enfocarse y generar una estrategia de mantenimiento. En el contexto de la mantención correctiva que hoy se realiza, una de las más grandes desviaciones son los datos que no se están cargando en la herramienta SAP PM, no existen históricos medibles para poder avanzar con las mejores estrategias de Mantenimiento.

1.4. EQUIPO CRÍTICO

Dentro de los equipos existentes en operación se cuenta con cuatro cables de media tensión en 33 kV los cuales cumplen la función de transportar energía, estos cables no cuentan con data de mantenciones, reparaciones, repuestos, etc. Debido a esto se decide realizar una matriz de riesgo para analizar estos cables y determinar cuál es el activo más crítico. Para generar esta matriz se necesitan datos y SAP, en este caso puntual no es de ayuda, debido a que los mantenedores no ingresan los eventos, ni reparaciones realizadas a los cables, por lo anterior, se analizan uno a uno junto a los mantenedores que cuentan con más experiencia en el área de subestaciones eléctricas y redes, para así recopilar la mayor información posible y lograr generar una matriz.

Dentro de los datos recepcionados, se encuentra un alimentador que tiene más detenciones por fallas ocurridas que el resto, esta información se corrobora con los demás mantenedores que existen en el área para así poder validarla, en este último tiempo no se encuentran detenciones de los cables debido al cambio estratégico divisional por los derrumbes ocurridos en el último tiempo. En este aspecto se trabajará con data antigua para poder contar con alguna información y poder se llegar a lo siguiente:

Tabla 1-1 Extracto análisis criticidad cables 33 kV mina subterránea

ANÁLISIS DE CRITICIDAD
SISTEMA SOMA
Fecha:04/09/2023
SISTEMA ELECTRICO 33 KV MINA SUBTERRANEA
Organización: MINA SUBTERRANEA

Código de Equipo	Denominación	Frecuencia fallas	P1 Seguridad	P2 Medio ambiente	P3 Producción	Costos de mantenimiento	TOTAL	Consecuencia	Jerarquización
ALM-PRIN-Z1	Alimentador Z-1	1	12	32	12	2	58	6	MEDIA
ALM-SEC-Z-13	Alim Z-13 ESM-RENO	1	0	0	2	2	4	2	BAJA
ALM-PRIN-Z2	Alimentador Z-2	2	12	32	12	2	58	6	ALTA
ALM-SEC-Z-12	Alim Z-12 SUB-6-ESM	1	0	0	2	2	4	2	BAJA
ALM-SEC-Z-24	Alim Z-24 SUB-6-TTE 7SUR	1	0	0	2	2	4	2	BAJA
ALM-PRIN-Z3	Alimentador Z-3	1	12	32	12	2	58	6	MEDIA
ALM-SEC-Z-43	Alim Z-43 RENO-TTE 7SUR	1	0	0	2	2	4	2	BAJA
ALM-PRIN-Z4	Alimentador Z-4	1	0	0	2	2	4	2	BAJA

Fuente: Análisis de criticidad cables 33 kV, elaboración propia.

En el análisis de criticidad se consideran cuatro alimentadores principales que alimentan con 33 KV la mina, estos son iguales y transmiten la misma tensión, nacen de la S/E Sewell y llegan a los distintos niveles productivos, para suministrar con energía nuestro cliente que sería la producción y nuestra labor es mantener estable el sistema eléctrico para no entorpecer la operación de producción.

En la ejecución del análisis de criticidad debido a que los cables son iguales, se toman en cuenta los ámbitos de seguridad, medioambiente, producción y el costo de la reparación. Al momento de recopilar la información del sistema SAP que se utiliza como modelo de gestión, nos percatamos como equipo que el sistema no cuenta con información de los eventos realizados en tiempo, debido a esto se utiliza un método poco convencional que da mejor resultado al tener como referencia un cable nuevo. En este punto y con muy poca información se ejecuta una reunión con el personal que cuenta con más de 30 años en la mantención de subestaciones y redes, del área media tensión gerencia mantenimiento mina.

Este personal con su experiencia nos detalla los eventos ocurridos en los 30 años que han prestado servicio y se pudo recopilar los datos que uno de los cables específicamente el alimentador Z-2 cuenta con más eventos en el año y además este alimenta el sistema productivo mina Esmeralda la cual en este momento es la más productiva y afecta significativamente la producción diaria del Teniente.

Tabla 1-2 Evaluación de impacto

	P1 seguridad	P2 Medioambiente	P3 Producción	Costos de mantenimiento
Definición	Consecuencias potenciales que podrían tener una falla para la seguridad de las personas hasta las comunidades vecinas	Consecuencias sobre el medio ambiente en las instalaciones de CODELCO o en áreas próximas, para el aire, agua y tierra	Perdidas o paradas de producción que pueden ocurrir como consecuencias potenciales de una falla	Costos de mantenimiento en los cuales se incurre para restituir la función afectada por la ocurrencia de la falla
Evaluación de impacto	40 pts Riesgos de accidente con fatalidades múltiples	40 pts Riesgo de daño medioambiental severo y de largo plazo	12 pts perdida de producción mayor a 1 día	10 pts costos muy altos sobre 500 K USD
	38 pts Riesgo accidentes con una fatalidad	32 Riesgo de daño de largo plazo	8 pts Perdidas de producción entre 12 hrs y 1 día	8 pts Costos entre 100 y 500 k USD
	30 pts Riesgo de Accidente con discapacidad Permanente	28 pts riesgo de Daño de Corto plazo	4 pts Perdida de producción entre 2 y 12 hrs	5 pts costos medios entra 50 y 100 K
	12 pts Riesgo de accidentes con tiempo perdido	10 pts Riesgo de daño medioambiental menor	2 pts perdidas de producción hasta 2 hrs	2 pts Costos bajos entre 10 y 50 k USD
	0 pts Sin riesgo para las personas	0 pts Sin daño al medio ambiente	0 pts sin pérdida de producción	1 pt costos muy bajos, Bajo 10 K USD

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Mina El Teniente

Tabla 1-3 Criterio para definir consecuencia

Consecuencia	
Sobre 38	6
Entre 28 y 38 o consecuencia de producción igual a 12	5
Entre 20 y 28	4
Entre 10 y 20	3
Entre 4 y 10	2
Inferior a 4	1

Fuente: Sistema de confiabilidad Mina El Teniente

Tabla 1-4 Ocurrencia de falla de un sistema

Ocurrencia de falla	
Fallas diariamente	6
Fallas una vez por semana	5
Falla una vez al mes	4
1 vez cada 6 meses	3
1 vez al año	2
1 vez cada 10 años	1

Fuente: Sistema de confiabilidad Mina El Teniente

En este análisis de criticidad, se puede evidenciar que uno de los cables alimentadores debido a los eventos que ha tenido pasa a ser el más crítico, el alimentador Z-2 de 33 kV cuenta con dos fallas en su historial, recordar que el historial es la expertiz del personal que trabaja en el área, con estos datos se sabe a quién se le debe dar mayor énfasis.

1.4.1. Planes de mantenimiento

El proceso actual no realiza Mantenimientos medibles, lo cual no dispone al departamento de información trascendental al momento de tomar decisiones, esto genera duda en lo que se debería proponer como mantenimiento, el personal experto brinda de su experiencia para contar con algo de información respecto a los históricos de los cables.

Lo más cercano a una mantención seria la que se realiza a los activos de una subestación la cual está orientada a los equipos que se encuentran al interior de esta, no exactamente a los cables alimentadores, estos equipos se encuentran a la falla, cuando se genera un reclamo por parte del usuario se percatan que se encuentra sin energía, con esta

información se decide generar un plan de mantenimiento, sin saber si va ser efectivo o no para mantener los alimentadores principales de 33 kV de la mina.

Los planes de mantenimiento son estrategias diseñadas para mantener y preservar el funcionamiento adecuado de equipos, sistemas, instalaciones o activos a lo largo del tiempo. Los planes son esenciales en distintos entornos, como en la industria minera, tecnología y la construcción, para garantizar la operación y prolongar la vida útil de los activos.

Se deben identificar los activos que requieren mantenimiento, evaluar sus necesidades, estado actual y determinar la necesidad de mantenimiento. Programar mantenimientos correctivos o preventivos según estrategia de mantenimiento a utilizar. Los planes de mantenimiento garantizan la operación confiable y la longevidad de los activos, minimiza tiempos de reparación o inactividad de los no planificados y reduce costos a largo plazo, contribuye a la seguridad y el cumplimiento de la norma, que rige los parámetros que se deben cumplir, esto es la importancia de cumplir con los mantenimientos en nuestros activos.

1.4.1.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es una actividad que se realiza para corregir fallos, defectos o problemas que han surgido en un equipo, sistema, maquinaria o instalación. Su objetivo principal es restaurar el funcionamiento normal de un activo después de que se haya producido una avería o un fallo. Este tipo de mantenimiento es reactivo, ya que se lleva a cabo en respuesta a una necesidad inmediata.

Estas prácticas de mantenimiento no dependen de los planes de mantenimiento, debido a esta condición la posibilidad de que no existan piezas de repuesto es alta, además es posible que no se encuentren técnicos de mantenimiento disponibles para resolver el problema en el momento, ya que las fallas son totalmente imprevistas. Aunque en algunos casos es inevitable, el mantenimiento correctivo acaban teniendo un mayor impacto financiero en las empresas, ya que suelen implicar indisponibilidad prolongada en el tiempo, un gran porcentaje significativo de fallas podrían evitarse si se aplicaran planes de mantenimiento preventivo, sin embargo este tipo de modelos siempre será necesario y puede aplicarse a equipos con bajos niveles de criticidad, cuyas fallas no interfieran con la productividad, ya que si se requiere para un equipo crítico se deben emplear técnicas de mantenimiento.

1.4.1.2. Mantenimiento correctivo no planificado

Este se produce cuando los equipos sufren realmente una avería que a menudo suma tiempo de inactividad, este mantenimiento puede ser resultado de un fallo prematuro de las piezas o de la falta de supervisión del rendimiento del equipo, por los procedimientos de reparación de emergencia, ya que se debe reparar en el menor tiempo posible y esto lleva al error.

1.4.1.3. Mantenimiento correctivo planificado

La corrección planificada, es cuando se produce o detecta una caída en el mantenimiento de un equipo o conjunto de equipos, debido a esto las intervenciones no son de emergencia y pueden ser programadas. Mientras el activo cumpla su función con un rendimiento menor, se pierde productividad de dos maneras. En primer lugar, está la caída de la productividad debido al mal rendimiento, y por último la maquina en cuestión virtualmente es una bomba de tiempo, lo que indique que podría detener el proceso en cualquier momento.

El mantenimiento correctivo planificado también puede ocurrir por elección del gerente del área, después de un análisis de mantenimiento, podría concluir que opera el equipo hasta la detención y daño del equipo en cuestión, esta estrategia suele ser utilizada en procesos muy específicos.

1.4.1.4. Mantenimiento preventivo

El Mantenimiento preventivo en los cables eléctricos es crucial para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de los sistemas eléctricos, esto se puede reforzar con la exigencia de la norma IEEE, en específico se podría recomendar diversas estrategias preventivas las cuales podrían ayudar a cumplir con nuestro objetivo, las inspecciones visuales en el tiempo han dado resultado en otros procesos, es necesario recordar que este activo como infraestructura tiene su propia seguridad

CAPÍTULO 2: PLAN DE MANTENIMIENTO

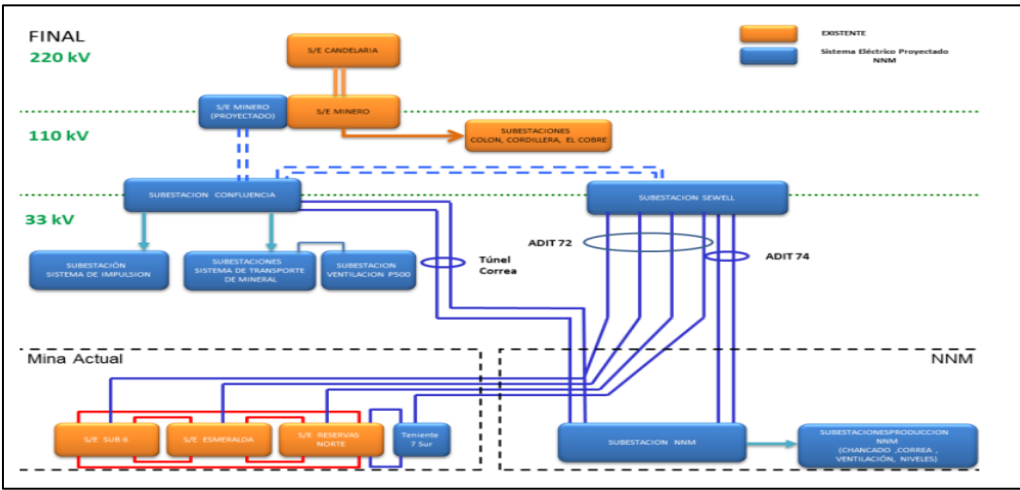
2. PLAN DE MANTENIMIENTO

En el presente capítulo se busca dar respuesta al objetivo específico número dos en el cual se espera establecer un plan de mantenimiento mediante análisis de modos de fallos, efectos y criticidad, priorizando acciones de mantenimiento.

2.1. MANTENIMIENTO

Los cables alimentadores en 33 kV actualmente no cuentan con pauta de mantenimiento, lo cual hace complejo el escenario para poder mejorar lo que se hace actualmente, tampoco se cuenta con histórico de fallas que puedan entregar información de lo que ocurre con el activo, debido a este escenario se decide realizar un análisis de modo de fallo, efecto y criticidad para primero determinar el activo más crítico y centrarse en este para generar los planes de mantenimiento mínimos que exige la norma IEEE que estandariza y recomienda lo mínimo que se debe realizar en los cables de poder desde 5 kV o mayor a este voltaje.

Como estrategia divisional el proceso eléctrico cuenta con la transmisión de energía eléctrica desde superficie hacia interior mina, en otras tensiones superiores debido a las distancias que se encuentran para entregar energía a los procesos productivos, para entender la transmisión que se realiza en las distintas tensiones se muestra lo entregado a la GMIN para la utilización y mantención de estos activos.



Fuente: Implementación de estrategia eléctrica GMIN, proyecto NNM.

Diagrama 2-1 Estructura eléctrica, transmisión energía a interior mina

Como se aprecia en la imagen desde superficie se transportan otros voltajes con otras estrategias de mantenimiento, el proyecto reestructura la transmisión de electricidad dentro de la GMIN, lo que genera que se creen nuevos activos que no estaban considerados en los contratos actuales de mantenimiento, debido a esto los equipos que se encuentran en funcionamiento se encuentran a la falla, cuando se generan problemas mayores se generan políticas de mantenimiento, pero estas no logran llevarse a cabo debido a la falta de personal, ya que, al encontrarse en funcionamiento estos equipos disminuyen su importancia hasta el momento en que se expone que cualquier cable que ha presentado una falla detiene procesos productivos completos, y a su vez se detienen equipos que no pueden entrar en funcionamiento rápidamente cuando tengan nuevamente energía sumando más retrasos en normalizar la cadena productiva.

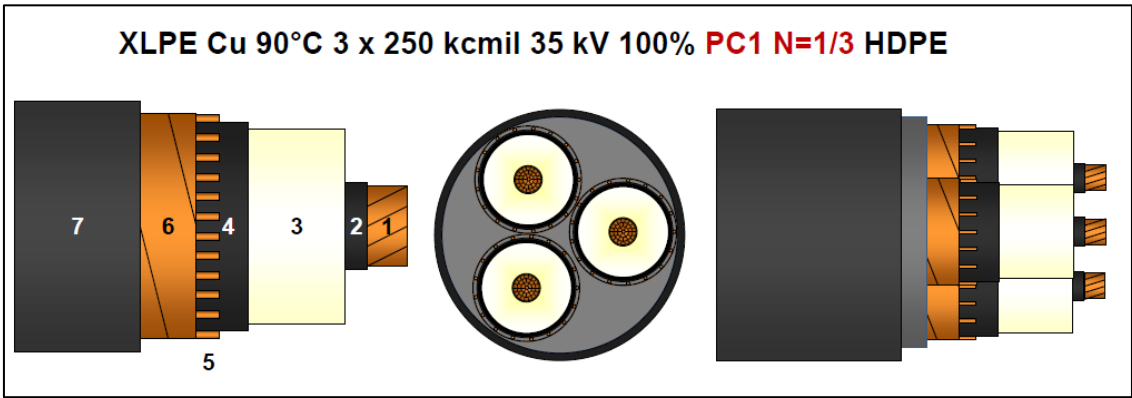
2.1.1. Cables eléctricos 33 kV

Los cables eléctricos de 33 kV que se utilizan en la minería subterránea, específicamente en esta oportunidad, su función principal es transportar energía eléctrica de un punto determinado a otro, para poder lograr esta importante y única función, los cables son de una estructura XLPE la cual es de una fabricación específica para el transporte de energía.

El cable XLPE (polietileno reticulado) es un tipo de cable aislado que se utiliza en aplicaciones eléctricas de media y alta tensión. El aislamiento está hecho de polietileno reticulado, un material termoestable que ha sido procesado de manera que su estructura molecular se ha modificado para mejorar sus propiedades mecánicas y dieléctricas. Esto lo hace adecuado para aplicaciones de cables eléctricos donde se requieren propiedades de aislamiento superiores, es uno de los mejores cables eléctricos en comparación con aquellos cables que tienen características similares. Por lo que es uno de los cables ideales para ser utilizado en proyectos que requieren ser instalados al aire libre, enterrado o en lugares que tienen una gran exposición a climas más fuertes como en el área de la minería. Las características y ventajas en este tipo de cables es su excelente aislamiento ya que cuenta con una alta resistencia dieléctrica, lo que hace adecuado para el uso en sistemas eléctricos de media tensión, la resistencia al calor ya que son capaces de soportar altas temperaturas, lo que los hace adecuados para aplicaciones donde podría haber sobrecarga eléctrica, resistencia a variedad de productos químicos lo que lo hace adecuado para entornos industriales, es flexible y se puede instalar en diferentes tipos de entornos y configuraciones, baja pérdida dieléctrica durante su transmisión, durabilidad ya que cuenta con una vida útil prolongada y requiere menor mantenimiento en comparación con otro tipo de cables eléctricos. Los cables XLPE se utilizan en una variedad de aplicaciones, incluyendo la distribución de energía eléctrica, la transmisión de energía en redes de

distribución eléctrica y en aplicaciones industriales donde se requiere una mayor resistencia y confiabilidad eléctrica.

Es importante destacar que la selección del tipo de cable, incluido el aislamiento XLPE, depende de la aplicación específica y de los requisitos eléctricos, y en este caso específico el área de ingeniería recomienda la utilización de estos cables eléctricos.



Fuente: Cable eléctrico utilizado en interior mina, empresa COSESA.

Figura 2-1 Partes de un cable de poder clase 33 kV

Las partes del cable mencionado se componen en distintos materiales, los cuales se especifican en la imagen más abajo.

Tabla 2-1 Componentes de un cable 33 kV Media Tensión.

	ELEMENTO	PROCESO	MATERIAL	FUNCION
1	Conductor	Cableado	Cu o Al	Transportar corriente electrica.
2	1ra Semiconductora	Triple Extrusión	XLPE semiconductor	Distribuir campo electrico uniformemente
3	Aislamiento		XLPE, EPR, HEPR	Soportar esfuerzos electricos
4	2da Semiconductora		XLPE semiconductor	Confinar el campo electrico al interior del conductor
5	Pantalla de hilos	Pantalla metalica	Cu	Neutro concentrico Corrientes de corto circuito
6	Pantalla de cinta			Blindaje electrostatico, capacitancia uniforme a tierra
7	Cubierta	Extrusion cub	PE,PEHD,PVC,FROH	Proteccion exterior mecanica

Fuente: Descripción componentes de un cable, empresa COSESA.

Conociendo el cable eléctrico de 33 kV y según norma IEEE 400.2 se pude determinar el mínimo de pruebas que se deben realizar para garantizar un mantenimiento efectivo dentro del mínimo que exige la norma.

2.1.2. Norma IEEE

La norma contiene una serie de documentos, que proporciona directrices y recomendaciones sobre diversos aspectos de sistemas eléctricos. En particular, la norma IEEE 400 se enfoca en los sistemas de energía eléctrica, la cual ofrece información detallada sobre diferentes aspectos del diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas eléctricos de alta calidad, esta es una guía para ensayos en campo y evaluación de aislamientos de cables de potencia apantallados.

Estas pruebas se llevan a cabo de acuerdo con lo recomendado en la norma IEEE 400.2 para pruebas de campo de sistemas de cables de alimentación blindados que utilizan frecuencias muy bajas (VLF), la cual menciona que estas pueden ser usadas en sistemas eléctricos que tienen una tensión que va desde los 5kV hasta los 69kV. Esta también incluye una tabla que muestra tres escenarios en donde se realiza la prueba (aceptación, instalación y mantenimiento) con los respectivos valores de tensión de prueba; del mismo modo menciona el tiempo de prueba que puede variar entre los 15 a 60 minutos pero que usualmente se realizan a 30 minutos. Con la experiencia se puede confirmar que ese es un tiempo prudente para la realización de la prueba, puesto que hubo ocasiones en donde los cables presentaron una falla alrededor de los 25 minutos. Las principales causas por las que fallaron fueron porque, al momento del tendido del cable por las bandejas, se dañaba el aislamiento del conductor o por la mala instalación de las terminaciones en los extremos de este.

Con lo que dice la norma IEEE 400 respecto a la mantención de cables eléctricos de media tensión, pruebas de aceptación y de funcionamiento, se sabe que se debe cumplir para poder entregar y utilizar un cable en las instalaciones.

2.2. PRUEBAS DE MANTENIMIENTO

Para las pruebas de mantenimiento en los cables de media tensión en este caso 33 kV, piden criterios mínimos para la aceptación y mantenimiento de los cables eléctricos.

Se debe ejecutar según la norma IEEE 400 ensayos de tensión resistida y de diagnóstico, como deben ser realizadas las mediciones en campo sobre cables de potencia apantallados como es en este paso. La norma IEEE 400.2 describe los métodos de ensayo en campo sobre cables apantallados de 5 a 500 kV, incluyendo formas y equipos VLF.

Adicionalmente se puede acudir a la Norma Chilena NCh 4/2003, cables de energía eléctrica con aislación sólida de polietileno o polietileno reticulado (XLPE) para tensiones nominales de 1 kV a 30 kV, esta norma establece los requisitos técnicos para

los cables de media tensión en Chile, lo que puede incluir pautas para pruebas y mantenimiento.

Reglamento Eléctrico (Decreto Supremo número 47 del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo), este reglamento establece los requisitos de seguridad eléctrica para las empresas constructoras y las obras menores en Chile, lo que puede abordar aspectos de las pruebas de cables de media tensión en entornos de construcción

Norma Chilena N.Ch. 2017/4, instalaciones eléctricas en media tensión (15 kV), esta norma se enfoca en las instalaciones eléctricas en media tensión y puede contener pautas para el mantenimiento y las pruebas de cables de esta categoría.

Con esta información se puede comenzar con el análisis de modos de fallos, efectos y criticidad, ya que complementa lo que se debe cumplir para el mantenimiento.

Todo sistema de cables debe ser sometido a pruebas eléctricas que permitan conocer el estado general de éstos, lo cual garantiza un apropiado funcionamiento y sobre todo permite brindar mantenimiento adecuadamente, no es posible instalar un sistema sin hacer ningún tipo de pruebas, pues entonces no se tiene ninguna seguridad de que brinde el servicio apropiadamente. Existen dos tipos de pruebas, las de recepción que sirven para conocer las condiciones del cable y las de mantenimiento que se realizan cuando el sistema ya ha sido puesto en marcha. Algunas de las pruebas son destructivas y otras no destructivas.

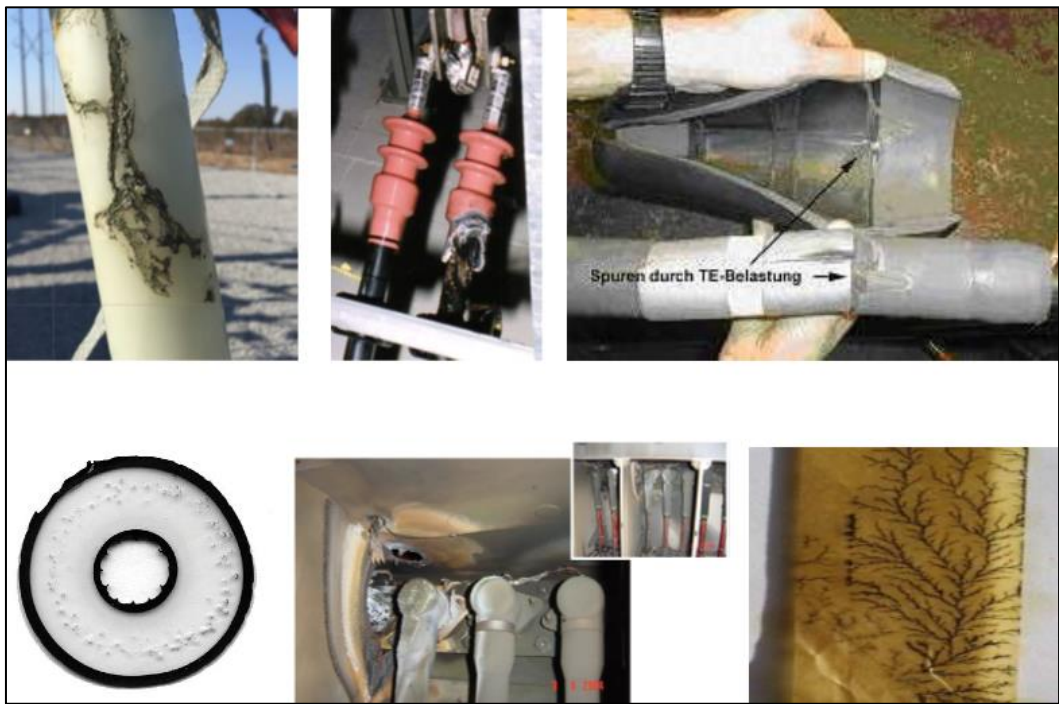
Pruebas de recepción se hacen después de que un cable ha sido instalado, pero antes de ponerlo en servicio normal, con el fin de detectar daños en el embarque o instalación, o errores en la mano de obra de los empalmes y terminales en la ejecución en trabajos que instalación de los equipos.

Pruebas de mantenimiento se realizan una vez esté en funcionamiento el cable, en servicio normal con el fin de detectar daños del funcionamiento en la instalación, las pruebas que recomienda serian, inspecciones visuales (estructurales del recorrido del cable y de sus instalaciones), pruebas eléctricas para saber el envejecimiento del cable (VLF) y descargas parciales (detectan defectos progresivos en el cable).

2.2.1. Descargas parciales

Las pruebas de descargas parciales en cables de media tensión son procedimientos que se realizan para evaluar la integridad del aislamiento de los cables y detectar posibles problemas en el sistema eléctrico. Las descargas parciales son pequeñas chispas o arcos eléctricos que pueden ocurrir dentro del aislamiento de un cable eléctrico debido a defectos, impurezas o daños en el aislamiento, cavidades que resultan de un proceso de extrusión defectuoso en fábrica (contaminación), otros tipos de cavidades se deben a imperfecciones en las interfases y en los traslapes de las cintas así como resultado de un

proceso de envejecimiento térmico o bien esfuerzos mecánicos mayores a los permitidos por la normatividad. Estas descargas pueden dañar progresivamente el cable y reducir su vida útil, y si no se detectan y se corrigen a tiempo, pueden llevar a un fallo catastrófico del cable y causar interrupciones en el suministro eléctrico o incluso situaciones peligrosas.

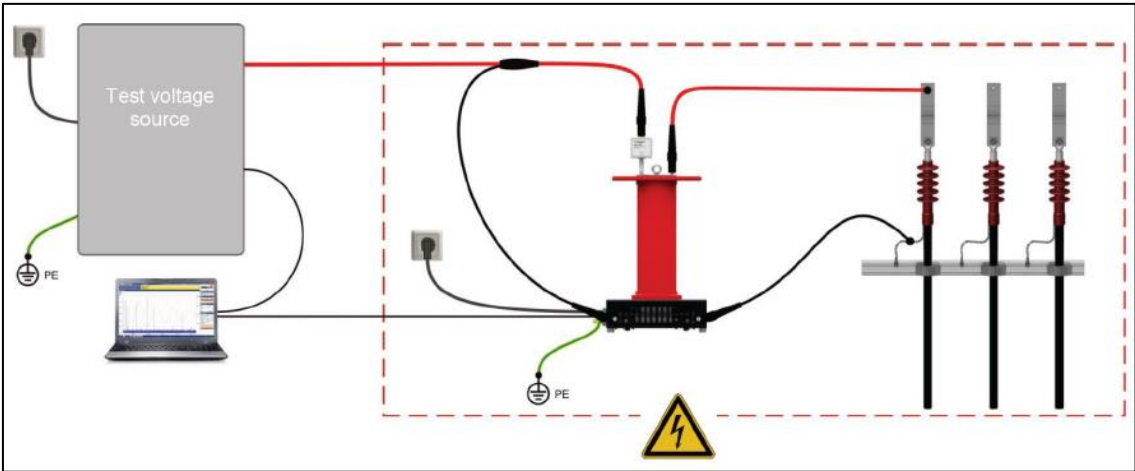


Fuente: Daños de cables de primera generación, empresa Megger.

Figura 2-2 Daños en cables de poder en 33 kV

Los daños en cables mostrados en la fotografía se generan por la mala confección de uniones de cables, la no utilización de herramientas específicas para la fabricación en la terminación del cable, no respetar la curvatura establecida por la norma, no dar los aprietes necesarios en los extremos del cable, etc. Estos daños se encuentran en los cables por la mala ejecución en la instalación de cables, el no realizar las pruebas de aceptación según la norma IEEE 400.3., también se encuentra estos tipos de daños.

A este tipo de daño se les categoriza de segunda generación, ya que son problemas globales del proceso de envejecimiento del aislamiento, los cables de media tensión tienen un tiempo de servicio largo, el cual durante su tiempo se verá sujeto a esfuerzos térmicos, eléctricos, mecánicos y del medio ambiente, estos esfuerzos cambian las propiedades del cable (forma y estructura) del aislamiento de tal forma que envejecerá y/o degradarán el material aislante, esto genera un incremento de la fuerza de ruptura y conducirá eventualmente a una falla potencial.



Fuente: Equipo de prueba descargas parciales, empresa megger.

Diagrama 2-2 Equipo descargas parciales y conexionado

La prueba consiste en conectar un cable que este desconectado del sistema, para realizar un análisis de mantenimiento, este inyecta un voltaje dependiendo para el requerimiento que se quiera el informe, os voltajes y tiempos para el ensayo depende de la instalación en la cual se encuentre el cable, a continuación, un atabla como referencia.

Tabla 2-2 Voltajes y tiempos de pruebas a cables eléctricos media tensión

TENSION	INSTALACION	ACEPTACION	MANTENIMIENTO
rms voltage en KV	rms o voltage pick	rms o voltage pick	rms o voltage pick
5	9 (13)	10 (14)	7 (10)
8	11 (16)	13 (18)	10 (14)
15	18 (25)	20 (28)	16 (22)
25	27 (38)	31 (44)	23 (33)
35	39 (55)	44 (62)	33 (47)
IEEE 400.2-2004	30 min@0,1 Hz	30 min@0,1 Hz	15 min@0,1 Hz

Fuente: Pruebas de aceptación según instalación, empresa megger.

Dependiendo de lo requerido del cable en la instalación es el tiempo y el voltaje que se le aplicaran ya que existen parámetros no modificables que se deben respetar para realizar un ensayo correcto y no dañar el cable al cual se le realizara el ensayo. Estas pruebas deben realizarla personal autorizado y calificado ya que existen riesgos potenciales a las personas y al activo.

2.2.2. Pruebas VLF

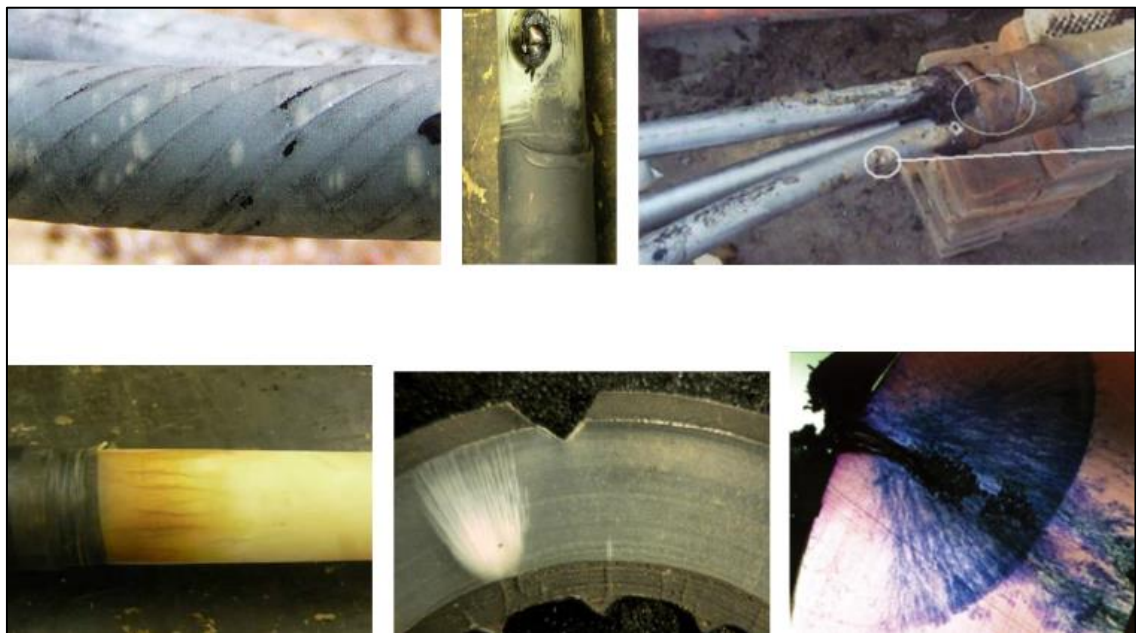
Las pruebas de aceptación que se aplican a los cables de potencia es la medición de tensión a muy baja frecuencia, también conocida como prueba VLF (muy baja frecuencia), que se realiza en campo a cables de media y alta tensión con una clasificación de 5 kV a 69 kV estipuladas en la norma IEEE 400.2, cuando se habla de la prueba VLF se refiere a un método de prueba que utiliza señales de corriente alterna a frecuencias inferiores a 1 Hz, la cual solamente indica que el cable bajo prueba pasa o no pasa, es decir, se le aplicará tensión de prueba a un cable de 2 a 3 veces la tensión nominal y este cable tendrá que soportar la tensión en un tiempo determinado.

El tiempo de prueba mínimo recomendado para una prueba a un cable envejecido es de 30 minutos a 0.1 Hz. Si el cable se considera importante se debe extender el tiempo de prueba a 60 minutos a 0.1 Hz.

El tiempo de prueba mínimo recomendado para instalación o aceptación de un cable nuevo es de 60 minutos a 0.1 Hz.

Un tiempo de prueba dentro del rango de 15 a 30 minutos puede ser considerado si las características monitoreadas permanecen estables durante al menos 15 minutos.

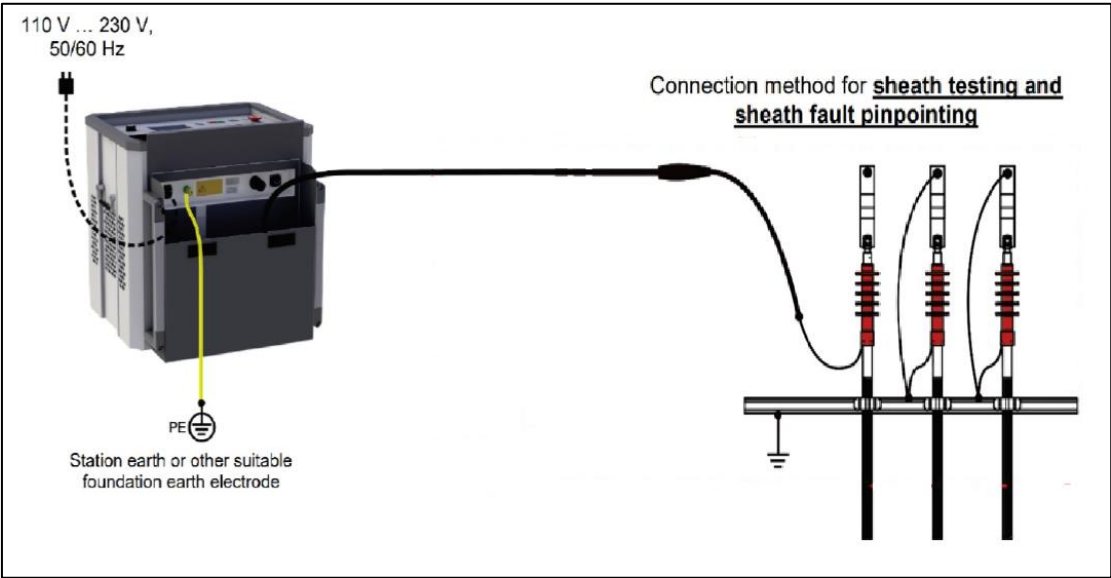
La tensión de prueba está estipulada en la IEEE 400.2 y se utiliza la misma tabla que en descargas parciales (Tabla 2-2 Voltajes y tiempos de pruebas a cables eléctricos media tensión) ya que la norma especifica que para ambas pruebas se deben considerar los tiempos y voltajes en la tabla descrita.



Fuente: Daños de cables de segunda generación, empresa megger.

Figura 2-3 Daños en cables de poder en 33 kV

Este ensayo tiene la habilidad de encontrar tipos de fallas humanas, malos diseños instalados, la no utilización completa de los accesorios que se encuentran en los kit de mantenimiento, el ahorro de tiempo por entregar antes los trabajos, la norma IEEE 400.2 exige que en mantenimiento o nuevas instalaciones, se deben realizar este tipo de pruebas para determinar el estado de los componentes que se utilizaran posteriormente, las pruebas de instalación son exigentes ya que se deben asegurar que lo instalado está en óptimas condiciones.



Fuente: Prueba VLF a cable media tensión, empresa megger.

Figura 2-4 Modo de instalación equipo VLF en terreno

2.2.3. Inspecciones visuales

La inspección visual consiste simplemente en revisar el cable recorriendo su trayectoria minuciosamente buscando la presencia de algún posible daño que haya sufrido durante la instalación, lo cual sería indeseable, o algún otro elemento externo que pueda dañarlo a largo plazo como piedras, golpes, etcétera. Asimismo, se revisa visualmente que los accesorios hayan sido adecuadamente instalados y se encuentren en óptimas condiciones para ser puestos en servicio. La principal revisión que debe de hacerse en una inspección visual tiene que ver con los siguientes puntos:

- Identificación de la ruta del cable
- Placas de identificación de los cables
- Identificación de las terminales del circuito
- Identificación de los registros de paso

- Identificación de los registros de empalme
- Verificación de las conexiones de tierra
- Verificación de los soportes en los registros

Si se ha revisado que las condiciones de cada uno de los puntos anteriores son aceptables, entonces se procede con las siguientes pruebas.

La inspección visual consiste en revisar si un conductor eléctrico presenta alguna desviación en su construcción o bien, causada por algún otro agente, y si ocurriera, tratar de determinar la causa.

La inspección dimensional de un cable consiste en la verificación del tamaño y forma de los elementos que componen un conductor eléctrico, cada elemento debe tener las dimensiones adecuadas en su construcción, los cuales deberán estar dentro de las especificadas por las normas establecidas por el área de ingeniería.

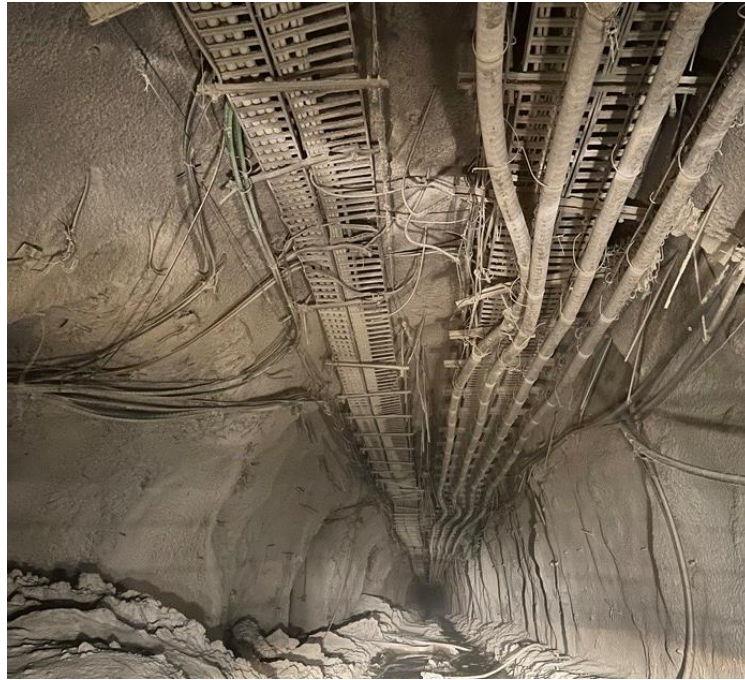
Inspección física de la red bajo prueba, desde los equipos eléctricos, como son los interruptores, hasta los centros de distribución, pasando por las canalizaciones, las cuales pueden ser aéreas, subterráneas, submarinas, en charolas, en conductos o combinaciones de éstas, inspección de las conexiones a tierra, soportes del cable, empalmes y/o terminales, preparación de los cables para realizar pruebas eléctricas, lo cual consiste en aislar o individualizar los cables o circuitos bajo prueba, para poder aplicar alguna o algunas pruebas previas a la puesta en servicio, con la finalidad de anticiparse a la aparición de una posible falla durante la operación de los cables.



Fuente: Elaboración propia cable alimentador Z-2, mina el Teniente.

Figura 2-5 SNV mina subterránea ubicación cables 33 kV

El problema que existe en la Figura 2-5 (mina subterránea ubicación cables 33 kV), por problemas de infraestructura se produjo una explosión de roca que daño solo la caverna, al momento de realizar la reparación el personal llena de cemento el cable alimentador, estando energizado y debido a que no se realizan mantenimiento de inspecciones visuales no se sabía de esta condición, se percata el área debido al recorrido que se realizó para este informe.



Fuente: Elaboración propia cable alimentador Z-2, mina el Teniente.

Figura 2-6 SNV mina subterránea ubicación cables 33 kV

En la figura 2-6 (mina subterránea ubicación cables 33 kV), se encuentra con un golpe en su estructura, según datos solicitados en el sector se cambió un ventilador el cual tuvo problemas de servicio, en el momento de realizar el retiro de este el operador realiza una mala maniobra dañando parte superficial del cable, para lo cual fue diseñado, pero esta situación no fue advertida y con las pruebas realizadas cuando el cable falla, se percatan en que se encuentra con daño no solo estructural, daños internos en la aislación que con el tiempo se agravaron y ocurrió una falla al cable.

Esto indica que las inspecciones visuales para el cable alimentador son de vital importancia ya que el interior de la mina existe constantemente cambios, los cuales generan desviaciones en los procesos, modificaciones o daños como se aprecian, con esta herramienta se podría evidenciar los cambios que se están viviendo en el cable alimentador.

2.3. ANÁLISIS MODO DE FALLA

Los análisis FMECA (modo de fallos, efecto y criticidad) en una metodología utilizada en ingeniería y gestión de calidad para evaluar y comprender las posibles fallas, sus efectos y su gravedad en sistemas, productos o procesos. Como objetivo principal identifica y prioriza las fallas potenciales que podría tener un impacto significativo en la seguridad, la fiabilidad y el rendimiento de un sistema.

En esta oportunidad se selecciona esta herramienta, debido que no se cuenta con mantenimiento a los activos que se van a evaluar, no se sabe cuál es activo más crítico o cuál es el que falla más, saber si es significativo invertir en mantenimiento, en este caso cuatro cables de media tensión en 33 kV que alimentan una mina subterránea completa, se encuentran en diferentes lugares de la mina subterránea y no se sabe del estado de ellos hasta que por alguna falla o deficiencia del cable interrumpa el funcionamiento y quede sin poder funcionar,

El objetivo principal de este análisis es dar un comienzo al mantenimiento a los cables de media tensión en 33 kV, en este momento se cuentan con herramientas como SAP que no se están utilizando (datos históricos de falla, como ejemplo), con este análisis se pueden identificar los mantenimientos mínimos que exige la norma IEEE 400.

Se identifican los elementos del sistema para lograr un buen análisis, dentro de los sistemas se pueden evaluar diversas variables, priorizar el riesgo, calcular el costo de mantenimiento, costos de pérdida productiva, etc.

Los datos de entrada que se cuentan son pocos, prácticamente se tuvo que solicitar información al personal que trabaja en el área con una expertiz más de cinco años. El cable cuenta con varias capas de dieléctrico, estas cumplen funciones específicas para el funcionamiento del cable, contener el campo eléctrico, aislar la tensión de una fase a otra, resguardar la integridad del cable (golpes, daños), y se definen dos fallas funcionales.

El no funcionamiento, detención del proceso productivo.

El funcionamiento con pérdidas eléctricas, posible detención del proceso productivo.

Estas fallas funcionales se definen por el proveedor del cable, además se definen modos de falla que especifican la funcionalidad del cable.

En el proceso muestra que existe un cable alimentador más crítico que el resto, esto debido a que tiene más histórico y fallas, pero además de esto, las pérdidas productivas son demasiadas altas, considerando mantenciones dos veces al año es demasiado rentable realizarlas, en este momento están a la falla, pero no saben que pierden al no tener ese personal que realiza este mantenimiento, el análisis ayuda a argumentar criterios de mantenimiento.

El análisis ayuda a tomar decisiones importantes del proceso productivo, se puede determinar la importancia del mantenimiento en los cables de media tensión, los impactos productivos que se asumen por no realizar mantenimiento a estos cables, en la matriz de criticidad se pude ver que un cable es más crítico que el resto, esto por las fallas y también por el impacto productivo que genera ese proceso, importante evaluar y demostrar que estos cables requieren de un mantenimiento, así se evitaría gran parte de las pérdidas.

Tabla 2-3 Modos de falla cable alimentador 33 kV

TRANSPORTE DE ENERGIA ELECTRICA EN 33 KV	1.1	PERDIDA TOTAL DE ENERGIA ELECTRICA	1.1.1	RUPTURA DEL CONDUCTOR
			1.1.2	DEGRADACION DEL AISLAMIENTO
			1.1.3	PERFORACION PANTALLA DE CABLE
			1.1.4	CALENTAMIENTO DE EMPALMES (MUFAS-UNIONES)
			1.1.5	DEFECTO EN SOPORTACION DEL CABLE AEREO
	1.2	DEFICIENTE FUNCIONAMIENTO CABLE ELECTRICO 33 KV	1.2.1	PERDIDA AISLACION DEL CABLE
			1.2.2	DESCARGAS PARCIALES DEL CABLE
			1.2.3	MALA FIJACION, CABLE MENSAJERO Y SOPORTES DEL CABLE
			1.2.4	ARBORESCENCIA EN DIELECTRICO DEL CABLE

Fuente: Elaboración propia FMECA cable 33 kV, mina subterránea.

2.4. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

A continuación, se presentan las pautas de mantenimiento que se proponen para mejorar el actual sistema de mantenimiento de la empresa.

2.4.1. Pauta mantenimiento VLF

Tabla 2-4 Voltajes de prueba VLF recomendados por IEEE 400.2 – 2013

TIPO DE ONDA	TENSION NOMINAL DEL CABLE	INSTALACIÓN		ACEPTACIÓN		MANTENIMIENTO	
		(KV rms)	(KV rms)	(KV rms)	(KV rms)	(KV rms)	(KV rms)
SENOSOIDAL	5	9	13	10	14	7	10
	8	11	16	13	18	10	14
	15	19	27	21	30	16	22
	20	24	34	26	37	20	28
	25	29	41	32	45	24	34
	K	32	45	36	51	27	38
	30	34	48	38	54	29	41
	35	39	55	44	62	33	47
	46	51	72	57	81	43	61
	69	75	106	84	119	63	89

Fuente: Elaboración Propia en base a investigación realizada.

Tabla 2-5 Datos

EQUIPO	CONCEPTO	VALOR	OBSERVACION
CABLES	Ubicación Técnica		
	Temperatura Ambiente	°C	
	Marca del Cable		
	Tipo de Cable y Medidas		
	Frecuencia Nominal Cable	Hz	
	Ubicación Inicio del Cable		
	Ubicación Fin de Cable		
	Longitud del Cable	{Km	
	Tensión Nominal del Cable	Kv	
	Tensión Fase-Tierra Cable		

Fuente: Elaboración Propia en base a investigación realizada.

Tabla 2-6 Prueba VLF

EQUIPO	CONCEPTO	VALOR	OBSERVACION
Cable Fase A	Inicio capacitancia	uF	
Cable Fase A	inicio corriente de fuga	mA	
Cable Fase A	inicio resistencia	GΩ	
Cable Fase A	final capacitancia	uF	
Cable Fase A	final corriente de fuga	mA	
Cable Fase A	final resistencia	GΩ	
Cable Fase A	estatus final	Aprueba	
Cable Fase B	Inicio capacitancia	uF	
Cable Fase B	inicio corriente de fuga	mA	
Cable Fase B	inicio resistencia	GΩ	
Cable Fase B	final capacitancia	uF	
Cable Fase B	final corriente de fuga	mA	
Cable Fase B	final resistencia	GΩ	
Cable Fase B	estatus final	Aprueba	
Cable Fase C	Inicio capacitancia	uF	
Cable Fase C	inicio corriente de fuga	mA	
Cable Fase C	inicio resistencia	GΩ	
Cable Fase C	final capacitancia	uF	
Cable Fase C	final corriente de fuga	mA	
Cable Fase C	final resistencia	GΩ	
Cable Fase C	estatus final	Aprueba	
Cable Fase A, B, C en paralelo	Inicio capacitancia	uF	
Cable Fase A, B, C en paralelo	inicio corriente de fuga	mA	
Cable Fase A, B, C en paralelo	inicio resistencia	GΩ	
Cable Fase A, B, C en paralelo	final capacitancia	uF	
Cable Fase A, B, C en paralelo	final corriente de fuga	mA	
Cable Fase A, B, C en paralelo	final resistencia	GΩ	
Cable Fase A, B, C en paralelo	estatus final	Aprueba	

Fuente: Elaboración Propia en base a investigación realizada.

2.4.2. Pauta mantenimiento descargas parciales

Tabla 2-7 Pauta Descargas Parciales

TIPO DE ONDA	TENSION NOMINAL DEL CABLE	INSTALACION		ACEPTACION		MANTENIMIENTO	
		(KV rms)	(KV rms)	(KV rms)	(KV rms)	(KV rms)	(KV rms)
SENOSOIDAL	5	9	13	10	14	7	10
	8	11	16	13	18	10	14
	15	19	27	21	30	16	22
	20	24	34	26	37	20	28
	25	29	41	32	45	24	34
	K	32	45	36	51	27	38
	30	34	48	38	54	29	41
	35	39	55	44	62	33	47
	46	51	72	57	81	43	61
	69	75	106	84	119	63	89

Fuente: Elaboración Propia en base a investigación realizada.

Tabla 2-8 Datos

EQUIPO	CONCEPTO	VALOR	OBSERVACION
CALIBRACION	Valor de calibración	pC	
CALIBRACION	Resultado calibración		

Fuente: Elaboración Propia en base a investigación realizada.

Tabla 2-9 Prueba Descargas Parciales

EQUIPO	CONCEPTO	VALOR	OBSERVACION
Voltaje nominal del cable (fase-tierra)	Uo	KV	
Cable Fase A	Ruido de tierra	pC	
Cable Fase A	PDIV	KV(rms)	
Cable Fase A	PDEV	KV(rms)	
Cable Fase A	DP max PDIV	pC	
Cable Fase A	DP max Uo	pC	
Cable Fase A	DP max 1.7 Uo	pC	
Cable Fase A	Frecuencia		
Cable Fase A	Conclusiones		
Cable Fase B	Ruido de tierra	pC	
Cable Fase B	PDIV	KV(rms)	

Cable Fase B	PDEV	KV(rms)	
Cable Fase B	DP max PDIV	pC	
Cable Fase B	DP max Uo	pC	
Cable Fase B	DP max 1.7 Uo	pC	
Cable Fase B	Frecuencia		
Cable Fase B	Conclusiones		
Cable Fase C	Ruido de tierra	pC	
Cable Fase C	PDIV	KV(rms)	
Cable Fase C	PDEV	KV(rms)	
Cable Fase C	DP max PDIV	pC	
Cable Fase C	DP max Uo	pC	
Cable Fase C	DP max 1.7 Uo	pC	
Cable Fase C	Frecuencia		
Cable Fase C	Conclusiones		

Fuente: Elaboración Propia en base a investigación realizada.

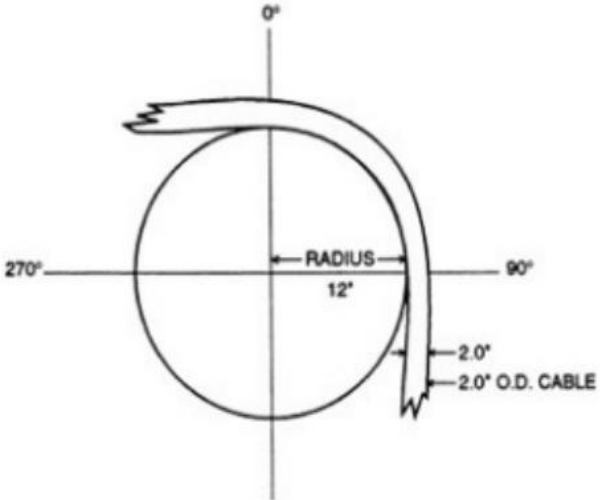
2.4.3. Pauta mantenimiento inspección visual

Tabla 2-10 Datos

EQUIPO	CONCEPTO	VALOR	OBSERVACION
CABLES	Ubicación Técnica		
	Temperatura Ambiente	°C	
	Marca del Cable		
	Tipo de Cable y Medidas		
	Frecuencia Nominal Cable	Hz	
	Ubicación Inicio del Cable		
	Ubicación Fin de Cable		
	Longitud del Cable	Km	
	Tensión Nominal del Cable	Kv	
	Tensión Fase-Tierra Cable		

Fuente: Elaboración Propia en base a investigación realizada.

Tabla 2-11 Inspección Visual

EQUIPO	VALOR	OBSERVACION
Radio de curvatura	90°	
		Ejemplo curvatura de un cable XLPE de media tensión según fabricante
Rotura del cable	Imagen	
Golpes del cable	Imagen	
Daños externos	Imagen	
		Ejemplo cable dañado en Tte 8 alimentador 13.8 KV, daño en chaqueta externa.
Afianzamiento	Imagen	
Mensajero	Imagen	
Daños externo	Imagen	
		Ejemplo cable 33 KV enterrado en shocrette (cemento), no cumple con su debido afianzamiento.

Fuente: Elaboración Propia en base a investigación realizada.

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

3. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

En una mina subterránea, las condiciones operativas y ambientales pueden ser extremas, con factores como la humedad, el polvo y la vibración que pueden afectar el rendimiento y la durabilidad de los cables de alta tensión. Estos cables son críticos para la distribución eficiente de energía eléctrica a los sistemas eléctricos, para poder abordar de una manera ingenieril se ejecuta un análisis financiero el cual nos ayudara a determinar la factibilidad del proyecto.

3.1. ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO

El siguiente análisis económico financiero, se podrán definir los ítems de mantenimiento adicionales que se recomiendan realizar para mejorar los índices de mantenimiento de este proyecto, se evidencia lo siguiente.

3.1.1. Análisis Económico

El presente Trabajo de Título busca la tan anhelada continuidad operativa, aplicando del TPM al proceso, en donde es imperativo conocer el proceso productivo con el cual se interactúa, tan importante es considerar estos ítems, que con esto se puede fundamentar bases asociadas a los clientes internos y como esto genera valor al proceso general. Teniendo claras las rutas productivas se puede definir los costos asociados, cabe destacar que estos datos son confidenciales, por lo que se debe realizar una simulación que esté compuesta por las detenciones a lo largo del tiempo y la cantidad de este invertida en las detenciones no programadas. En el siguiente recuadro se muestra un resumen facilitado por el departamento de confiabilidad, de los últimos 3 años.

Tabla 3-1 Resumen detenciones 2020-2022, media tensión.

# DETENCIONES			TOTAL HRS			PROM			# DETENCIONES			TOTAL HRS			PROM			# DETENCIONES			TOTAL HRS			PROM		
AÑO 2020	2020		2020	2020		2020	AÑO 2021	2021	2021	2021		2021	AÑO 2022	2022		2022	2022		2022	2022		2022	PROM 2022			
ENERO		7		16		2,3	ENERO		7		19		2,7	ENERO		3		8		2,7						
FEBRERO		6		18		3,0	FEBRERO		5		14		2,8	FEBRERO		5		11		2,2						
MARZO		8		19		2,4	MARZO		6		19		3,2	MARZO		6		13		2,2						
ABRIL		4		15		3,8	ABRIL		7		20		2,9	ABRIL		8		19		2,4						
MAYO		5		15		3,0	MAYO		7		19		2,7	MAYO		7		19		2,7						
JUNIO		3		13		4,3	JUNIO		6		19		3,2	JUNIO		6		15		2,5						
JULIO		7		17		2,4	JULIO		5		17		3,4	JULIO		6		16		2,7						
AGOSTO		6		18		3,0	AGOSTO		4		15		3,8	AGOSTO		7		19		2,7						
SEPTIEMBRE		2		6		3,0	SEPTIEMBRE		6		18		3,0	SEPTIEMBRE		6		15		2,5						
OCTUBRE		8		19		2,4	OCTUBRE		5		16		3,2	OCTUBRE		5		13		2,6						
NOVIEMBRE		6		18		3,0	NOVIEMBRE		8		19		2,4	NOVIEMBRE		4		11		2,8						
DICIEMBRE		5		15		3,0	DICIEMBRE		7		19		2,7	DICIEMBRE		5		15		3,0						

Fuente: Elaboración área confiabilidad mina subterránea.

Como se observa la cantidad de detenciones no siguen un orden o un estándar secuencial, debido a lo que se tuvo que calcular la media de las detenciones. Estas quedan descritas en la siguiente tabla.

Tabla 3-2 Consolidados de cantidad de detenciones por mes en promedio anual 2020-2023

AÑOS	DETENCIONES
PROMEDIO DETENCIONES 2020	5,6
PROMEDIO DETENCIONES 2021	6,1
PROMEDIO DETENCIONES 2022	5,7

Fuente: Información facilitada por el área de Confiabilidad.

Considerando que cada atención requiere recursos asociados, en los que se incluye las Horas Persona, traslado, documentación de seguridad y el traslado de la línea de supervisión. Se considera como base el tiempo promedio invertido por un trabajador en cada año.

Tabla 3-3 Promedio de HH mensual por un trabajador al año, 2020-2023

PROMEDIO DE HH POR 1 TRABAJADOR	HH
PROMEDIO DE HH POR 1 TRABAJADOR 2020	15,75
PROMEDIO DE HH POR 1 TRABAJADOR 2021	17,8
PROMEDIO DE HH POR 1 TRABAJADOR 2022	14,5

Fuente: Información facilitada por el área de Confiabilidad.

A pesar de que la tabla del promedio de HH por un trabajador al año, mensual, es considerable, esta se acrecienta si se llevan estos hechos a la realidad en donde el mínimo de recurso es de 2 técnicos y un supervisor.

Tabla 3-4 HH Real por detención en promedio mensual por año, 2020-2023

PROMEDIO DE HH POR 1 TRABAJADOR	HH	HH REAL
PROMEDIO DE HH POR 1 TRABAJADOR 2020	15,75	47,25
PROMEDIO DE HH POR 1 TRABAJADOR 2021	17,8	53,5
PROMEDIO DE HH POR 1 TRABAJADOR 2022	14,5	43,5

Fuente: Información facilitada por el área de Confiabilidad.

El costo de la oportunidad que se busca con la mejora se ve incrementado con la incertidumbre que se tiene en un proceso no programado, repuestos no estandarizados y ciclos de cambios de componentes o medibles no considerados. Por lo anterior es que el implementar una pauta de mantención integral juega un rol fundamental en el proceso de estandarización, generando valor en la planificación, disponibilidad y confiabilidad.

Al considera una mantención semanal considerando el máximo de flujos de mantenciones sería de 5 detenciones mensuales, 0.7 puntos por debajo de la media más optimista. Se debe considerar para las futuras modificaciones en función a las detenciones, la vida útil de los componentes, debido que el plan es preventivo, pero a su vez depende de la vida útil de los cables, aun así, el realizar una pauta preventiva es mejor inversión que la incertidumbre que deja el no proyectar ni tener un seguimiento acabado del proceso.

La mantención considerará una detención de 2 horas por cada mantención, esto incluyendo los trabajos asociados. La extrapolación del TPM generará un seguimiento por el área operacional, quien reportará desviaciones evidentes u otros que generen

advertencia al departamento de Mantenición. Esto no sólo se debe generar entre el departamento de Operaciones y Mantenición, sino, debe ser visado por el departamento de Salud, Seguridad Ocupacional y Medio Ambiente. Este último debe finalizar el instructivo o procedimiento con la autorización, velando que se cumplan todas las medidas de seguridad.

Para analizar de manera financiera después de haberlo analizado de manera económica en donde el costo del beneficio en cantidad de detenciones se ve disminuido en un 14% por bajo el mejor de los casos otrora extraídos de las detenciones anuales de los últimos 3 años. Se debe considerar cuanto es lo que se produce en la línea productiva que se ve intervenida. En el año 2020 Codelco proyectaba para el 2022 un total de 405.429 toneladas métricas de cobre fino, considerando que el valor de la libra proyectada para el año 2023 por COCHILCO es de 3.8 USD., lo que dice cerca de 8,4 dólares por kilo. Con estos valores se puede calcular que 405.429 toneladas anuales producidas por División El Teniente a un valor de 8.4 dólares el kilo da la cifra de 3.405.603.600 USD, si se lleva al valor actual del dólar \$875.65 (con fecha 23 de noviembre 2023) da la cifra de \$2.982.116.792.340 (81.859.201 UF), considerando el valor en el tiempo, se utilizan las Unidades de Fomento para el análisis financiero del proyecto, en donde cada hora intervenida generará una pérdida de 9.474,4 UF, sin considerar que la mina a su vez produce Molibdeno.

Tabla 3-5 Horas de detenciones y costos de estas en UF entre los años 2020-2023

DETENCIPONES POR AÑO	HORAS	VALOR POR HORA (UF)	PERDIDA UF
HORAS DETENIDO EL 2020	189	9474,4	1790661,6
HORAS DETENIDO EL 2021	214	9474,4	2027521,6
HORAS DETENIDO EL 2022	174	9474,4	1648545,6

Fuente: Información facilitada por el área de Confiabilidad.

Según los datos aportados por el análisis de las tablas, puede decir que el promedio de la perdida mensual de los últimos 3 años fue de 5.466.728,8 UF.

Al no generar una medida de alteración de los procesos contractuales del departamento de mantención, más bien, se intervendrá con gestión y Kaizen, en donde se eliminará la “Muda” y se optimizará el “Gemba”, la medida debe contrastarse en función de la realizad actual, versus la mejora.

En la siguiente tabla se proyectará la implementación de la mejora, asociada a los costos a futuro de la implementación.

Tabla 3-6 Proyección con la mejora entre los años 2024-2026

SEMANAS 2024	HORAS X MP	COSTO HORAS MP	COSTO EN UF MP (9,474,4)
52	2	104	985337,6
SEMANAS 2025	HORAS X MP	COSTO HORAS MP	COSTO EN UF MP (9,474,4)
52	2	104	985337,6
SEMANAS 2026	HORAS X MP	COSTO HORAS MP	COSTO EN UF MP (9,474,4)
53	2	106	1004286,4

Fuente: Información facilitada por el área de Confiabilidad

Los costos futuros se verán reducidos en conformidad la mejora se implemente, pero si se considera la certeza que el proceso se realizará de manera óptima, los valores debiesen arrojar la siguiente comparativa.

Tabla 3-7 Costos en UF de las detenciones sin y con la mejora, cuadro comparativo de la propuesta de valor

PERIODOS	GASTOS EN UF
PERDIDA LOS FUTUROS 3 AÑOS.	2974961,6
PERDIDA LOS PASADOS 3 AÑOS	5466728,8
GANANCIA CON LA MEJORA	2491767,2

Fuente: Creación propia. Valores propuesta económica del proyecto



Fuente: Elaboración propia. Valores propuesta económica del proyecto

Gráfico 3-1 Comparativa grafica entre costos operacionales con la mejora y sin la mejora

Es importante destacar que, al reducir las intervenciones, se reduce la exposición de los Técnicos a los riesgos particulares de la implementación, cumpliendo con la primera barrera de la seguridad “¿se debe realizar? No”, entonces de paso se mejorarán los indicadores de seguridad en la reducción de intervenciones al reducir de 174 horas de detención por año en el mejor de los casos, a 106 horas de detención por año detenciones en el peor del caso futuro.



Fuente: Elaboración propia. Valores propuesta económica del proyecto

Gráfico 3-2 Consolidado de detenciones sin mejora y con mejora.

Como conclusión del reporte económico financiero, la mejora genera impactos positivos en las arcas de la estatal cuprífera, no solo en detenciones y en impactos monetizados, también en la búsqueda de la mejora continua de los procesos. La categoría de la mejora se puede considerar como Gestión Integral de los recursos, en donde se optimiza el recurso persona, seguridad, traslado, implementos y otros que aumentan el valor generado por la mejora. La continuidad operacional juega un rol fundamental en la industria, es aquí en donde los costos fantasmas o costos hormiga se deben identificar. Para efectos del presente documento, se establecen los gastos hormigas como aquellos pequeños gastos que se realizan a diario en la operación, en donde se encuentran las mudad de los distintos procesos productivos, a pesar de estar identificados al ser tan pequeños estos no generan alerta. Por otra parte, para efectos del presente trabajo de título se describen los gastos fantasmas aquellos de los cuales no se tiene un control, no porque no existan, más bien, porque no son identificados. Este trabajo aborda el problema económico desde el punto de vista del costo de la oportunidad de tener un programa de mantención que sea sustentado por la disponibilidad de la línea productiva y la continuidad del proceso siguiente en la cadena productiva interdepartamentalmente hablando, controlando los periodos de detenciones siendo estos programados por el área de mantención de manera programada, evitando caer en el “Reparaciones no programadas”. Con el control exhaustivo del departamento se asegurará la continuidad operacional y los activos que componen el proceso. Hasta el análisis del proceso en el presente documento, el Departamento de Mantención no había acusado conocimiento de los baches financieros que provoca en descontrol del proceso sin una planificación asociada a tiempo, recursos ni cantidad de detenciones.

3.1.2. Alcance Financiero

En el análisis económico se ofreció información importante del costo del beneficio, para efectos de estrategia se debe considerar que el análisis económico-financiero es el que genera el interés de los gerentes, ellos ven en estas propuestas de valor una idea redituable que puede fomentar su autopromoción y que estas ideas se repliquen en otros horizontes de la compañía, ya sea para optar a otro cargo o que la misma empresa y/o departamento busquen integrar de manera horizontal o vertical según sea el interés. Es por eso por lo que el Ingeniero de la Universidad Técnica Federico Santa María no solo tiene formación técnica, también posee las herramientas necesarias para identificar las brechas en las organizaciones, con un agudo análisis crítico, pero por sobre todo con un espíritu integral que busca generar valor en todos los procesos que ve involucrado. Desde ese agudo sentido de negocio es donde el ingeniero debe demostrar la forma en que la oportunidad genera valor, para esto existen análisis financieros que se sustentan en el mercado actual, tasa de interés y periodos en que la inversión tiene un horizonte de esperanza de utilización de los distintos activos. En ocasiones se poseen todos los activos, y la modificación suele ser solo parte del proceso productivo, identificando las falencias que restringen la continuidad operacional o cuando la continuidad operacional esta “asegurada” (nunca es una certeza), optimizar los activos de manera de aumentar el rédito en el negocio, ya sea disminuyendo los tiempos de atención del departamento de mantención a sabiendas que el negocio de este departamento es intervenir lo menos posible la operación o demostrando el valor que genera una inversión ante una necesidad.

La gerencia esperará que se le muestre el “dolor” del departamento y en qué proceso específicamente esta esté, para esto se puede usar una herramienta de persuasión como el “Elevator Pitch, para así en primera instancia generar un punto en común, en donde el “Ingeniero Sansano” muestra con sentido de urgencia lo que duele y como esto afecta en el negocio y a su vez, el “Gerente” sienta que ese “dolor” es mutuo. Aquí viene la parte en la que el “Ingeniero Sansano” le pone fecha a la reunión con “Gerencia” y otros “Jefes” de Departamentos, es parte del liderazgo gerencial que se identifiquen las problemáticas como interdepartamental, en pro de la búsqueda de soluciones de las que puede depender algún proceso en la “Cadena de Valor”. El “Ingeniero Sansano” explicará de manera aguda el proceso, demostrando que lo conoce por completo, no solo su proceso en particular, sino que, a lo largo de toda la “Cadena de Valor”, identificando sus clientes internos a lo largo del proceso, con esto dará tranquilidad al “Gerente” demostrando dominio del tema. Por otra parte, también demostrará con números el “Análisis Económico, identificando el costo del beneficio, para este caso en particular se refiere a detener la línea productiva en un exceso de tiempo e indefinido en su duración y cantidad de detenciones. Versus un programa planificado de detenciones en donde se realice un

chequeo y mantenimiento según un tipo de pauta de mantención, aparte de generar un plan de seguimiento estadístico de fallas con un histórico de estas y la vida útil de los activos que componen el proceso. Pero también el “Ingeniero Sansano” debe tener la fortaleza de saber identificar los desmedros o créditos financieros que posee su “Idea de Valor”, porque si le presenta un plan al “Gerente” en donde sólo hay un gasto definido, el “Gerente” pensará, genera más réditos invertir esa cantidad en depósito a plazo que en un gasto de incertidumbre, ahí es cuando el “Ingeniero Sansano” transforma el que hasta ahora es gasto para la “Gerencia”, en una inversión. Primero identificará los “Gastos Hormiga” (gasto pequeño pero contante e identificado) que hay en el proceso a mejorar, para el caso en particular el más evidente son los traslados, por dar un ejemplo. Luego demostrará los “Gastos Fantasmas” (gasto que no se ve ni se identifica a primera vista, pero esta), en donde se podría identificar el tiempo que se invierte en realizar un “Análisis de Riesgos del Trabajo” que por su importancia no son una pérdida de tiempo, debido que permiten identificar los peligros asociados a los trabajos, pero cuando este se debe realizar en cada intervención, más aún, la misma intervención, se puede llegar a considerar un “Gasto Fantasma”, aumentando la indisponibilidad de la operación alargando la estadía en el área de trabajo, debe quedar muy claro que es absolutamente necesario este Documento, lo que se pone en contexto son la cantidad de veces que se realizan por la misma falla.

Debido que en un Trabajo de Título el contexto genera la atmosfera analítica para fomentar los distintos sustentos de esta, es que gracias a la facilitación por parte de CODELCO se dispone de un enlace que permite explicar el documento y su importancia en cada una de las labores e intervenciones que tengan los trabajadores al momento de interactuar con peligros. A diferencia de otros documentos, CODELCO ha entendido que, para un peligro a infinidad de riesgos, se ha basado en los peligros para que el documento sea claro y ágil, descansando en los distintos procedimientos de trabajo.

3.1.3. Análisis Financiero

La inversión contara con la compra de un activo compuesto en dos partes, la primera es un Equipo VLF SINUS 62 de MEGGER con un precio con IVA incluido de \$59.087.874 (CLP), equivalente a 1.618,52 UF. La otra parte se subdivide en 2 un SET PD para VLF SIGNUS TEST SYSTEM UP TO 62 kV y un SET de accesorios para la medición con equipos TDM MEGGER con un precio de \$64.990.760 (CLP), equivalente a 1.779,21 UF. Ambos suman un total de \$124.078.634 (CLP), equivalente a 3.396,64

[illegible]

Fuente: Comulsa documento formal activos.

Figura 3-1 Factura activos asociados a la mejora, facilitados por el área de confiabilidad.

Se debe recordar que el Activo Fijo (AF) en este caso es un tangible que adquirirá o adquirió la empresa con el fin de utilizarse y no de convertirse en líquido en el corto tiempo, entonces pasa a ser un bien que se compró con la finalidad de hacer funcionar el negocio. El AF posee una vida útil, este es el tiempo que será utilizado sin que este se deteriore, venza o quede obsoleto, ya sea por tecnología, norma u otros, durante todo este periodo el AF se depreciará, siendo posible (no obligación) pactar un precio de rescate o salvamiento. También se debe saber que la depreciación es un mecanismo con el que se mide la pérdida de valor del AF, este es un cálculo equitativo en la pérdida del valor, eso quiere decir que según su depreciación este AF perderá el mismo valor cada periodo en el que se calcule la depreciación, esto es cada año hasta lo dispuesto según el tipo de activo y su uso, dispuesto por Servicio de Impuestos Internos (SII).

La depreciación según la tabla de servicio de impuestos internos puede ser “Normal” o “Acelerada”, siendo la normal el cálculo de la vida útil dividido los periodos que dice servicios de impuestos internos, en cambio la depreciación acelerada en 3 veces más rápida su depreciación, cuando queda en decima se debe acercar al entero más próximo.

Tabla 3-8 Herramientas pesadas según SII

NUEVA TABLA DE VIDA ÚTIL DE LOS BIENES FÍSICOS DEL ACTIVO INMOVILIZADO			
#	NÓMINA DE BIENES SEGUN ACTIVIDADES	NUEVA VIDA ÚTIL NORMAL	DEPRECIACIÓN ACELERADA
18	HERRAMIENTAS PESADAS	8	2

Fuente: SII con datos duros del proyecto.

Tabla 3-9 Tabla depreciación asociada al AF, SII

HERRAMIENTAS PESADAS (CONJUNTO MEGGER)	NORMAL POR PERIODO	ACELERADA POR PERIODO
EN PESOS CHILENOS	\$ 15.509.829	\$ 62.039.317
EN UNIDADES DE FOMENTO	424,58	1698,32

Fuente: SII con datos duros del proyecto.

Para la adquisición del activo la estrategia será solicitar un préstamo a la entidad financiera con la mejor tasa de interés según la tabla comparativa del “Servicio Nacional del Consumidor” (SERNAC). Para realizar la comparativa se utilizará el simulador, con monto a solicitar de \$1.000.000 equivalente a 27,37 UF.

Tabla 3-10 Comprobador de cuotas, simulador SERNAC

Nombre entidad financiera	Monto simulado	Tasa interés mensual	Total Intereses	Gastos Asociados	Valor Cuota mensual	CTC	CAE
Banco Internacional sin seguro	\$ 1.000.000	1,42%	\$ 97.469	\$ 10.251	\$ 92.310	\$ 1.107.720	19,12%
Banco BICE sin seguro	\$ 1.000.000	1,56%	\$ 106.774	\$ 8.638	\$ 92.951	\$ 1.115.412	20,66%
Banco Consorcio sin seguro	\$ 1.000.000	1,81%	\$ 127.475	\$ 8.961	\$ 94.703	\$ 1.136.436	25,59%
Banco BCI sin seguro	\$ 1.000.000	2,02%	\$ 141.500	\$ -	\$ 95.125	\$ 1.141.500	25,17%
Banco Scotiabank sin seguro	\$ 1.000.000	3,16%	\$ 225.837	\$ 10.343	\$ 103.015	\$ 1.236.180	41,07%
Banco Falabella sin seguro	\$ 1.000.000	3,54%	\$ 251.611	\$ 11.053	\$ 105.222	\$ 1.262.664	45,41%

Fuente: Simulador SERNAC Web.

Para el cálculo del préstamo se utilizará la mejor de las tasas, en este caso es la del Banco Internacional que corresponde a un 1,42% mensual más el “Gasto Administrativo” que en este caso es de \$10.251(CLP) equivalente a 0,28 UF, para términos prácticos el monto a solicitar incluirá el “Gasto Administrativo”. Entonces se solicitará un préstamo de \$124.088.885(CLP) equivalente a 1.779,49 UF.

Tabla 3-11 Datos para el cálculo de la tabla de amortizaciones, cupta calculada con la formula pago, valores en UF

Monto en UF	1.779,21
Tasa	1,42%
Cantidad de Cuotas	24
Cuota Fija Mensual en UF	88,00

Fuente: Elaboración propia.

Para los cálculos se utilizará el método de la cuota e interés fijos en un periodo de 24 meses, mismo periodo de la depreciación acelerada de SII.

Tabla 3-12 Tabla de amortizaciones con cuota e intereses fijo.

N° Periodos	Saldo Inicial	Cuota Fija	Interés	Abono a Capital	Saldo Final
0					1.779,21
1	1.779,21	88,00	25,26478	62,74	1.716,47
2	1.716,47	88,00	24,37391	63,63	1.652,84
3	1.652,84	88,00	23,47038	64,53	1.588,31
4	1.588,31	88,00	22,55403	65,45	1.522,86
5	1.522,86	88,00	21,62466	66,38	1.456,49
6	1.456,49	88,00	20,6821	67,32	1.389,17
7	1.389,17	88,00	19,72615	68,28	1.320,89
8	1.320,89	88,00	18,75663	69,25	1.251,64
9	1.251,64	88,00	17,77334	70,23	1.181,41
10	1.181,41	88,00	16,77609	71,23	1.110,19
11	1.110,19	88,00	15,76467	72,24	1.037,95
12	1.037,95	88,00	14,7389	73,26	964,69
13	964,69	88,00	13,69856	74,30	890,38
14	890,38	88,00	12,64344	75,36	815,02
15	815,02	88,00	11,57335	76,43	738,60
16	738,60	88,00	10,48806	77,51	661,08
17	661,08	88,00	9,387352	78,62	582,47
18	582,47	88,00	8,271019	79,73	502,73
19	502,73	88,00	7,138834	80,86	421,87
20	421,87	88,00	5,990571	82,01	339,86
21	339,86	88,00	4,826004	83,18	256,68
22	256,68	88,00	3,644899	84,36	172,33
23	172,33	88,00	2,447023	85,56	86,77
24	86,77	88,00	1,232137	86,77	0,00

Fuente: Elaboración propia.

Estos cálculos muestran cómo se desglosa un préstamo con una entidad bancaria, esto se utiliza para identificar el rendimiento ante indicadores, importante es destacar que se realizó un préstamo de la totalidad de lo necesario para adquisición de la herramienta.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al finalizar el desarrollo del presente trabajo de titulación se establece que es necesario implementar prontamente un plan de mantenimiento para los cables alimentadores de la mina, con el fin de aumentar su vida útil y disminuir los riesgos de fallas.

Se determina el equipo crítico el cual nos ayudara a priorizar componentes del sistema que tienen mayor impacto en la operación. Este análisis ha resaltado la importancia de los cables enlaces de 33 Kv y otros equipos, con el fin de orientar los recursos hacia las áreas más vulnerables y críticas.

Como se indicó es importante cumplir con una serie de requerimientos que establece la norma IEEE, para alcanzar un estándar mínimo en el nuevo plan de mantenimiento del sistema eléctrico de media tensión, con estos enfoques se puede garantizar las actividades de mantenimiento se centren en las áreas que más afectan la operación, optimizando los recursos y minimizando el riesgo de interrupciones.

La evaluación técnica y económica del plan de mantenimiento ha proporcionado una visión clara de la viabilidad del proyecto. El análisis ha demostrado que, a pesar de los costos iniciales asociados con la implementación del plan, los beneficios en términos de reducción de fallos, prolongación de la vida útil del cable y mejoras en la seguridad justifican la inversión. La evaluación de costos y beneficios confirma que el proyecto es económicamente viable y ofrece un retorno positivo sobre la inversión, la mejora genera impactos positivos en las arcas de la estatal cuprífera, no solo en detenciones y en impactos monetizados, sino también en la búsqueda de la mejora continua de los procesos de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN

CODELCO. Nosotros [en línea] <https://www.codelco.com/nosotros>

IEEE. Guía IEEE para pruebas de diagnóstico de campo de descarga parcial de sistemas de cables de alimentación blindados [en línea] <https://standards.ieee.org/ieee/400.3/5316/>

ING.UC. Gestión de activos y Mantenimiento industrial [en línea] <https://www.ing.uc.cl/mineria/wp-content/uploads/2013/08/pdf-pag-2.pdf>

SERNAC. simulador web [en línea] <https://www.sernac.cl/portal/604/w3-article-70792.html>