



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

**FACULTAD TECNOLÓGICA**  
**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA**

**DESCRIPCION DEL SISTEMA DE RESPALDO DE ENERGIA PARA AREAS  
CRITICAS EN MINERA CANDELARIA.**

Javier Alcides Cortes Corso  
Hernester Rigoberto Díaz Chávez

Copiapó, Chile 2023



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

**FACULTAD TECNOLÓGICA**  
**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA**

**DESCRIPCION DEL SISTEMA DE RESPALDO DE ENERGIA PARA AREAS  
CRITICAS EN MINERA CANDELARIA.**

Proyecto de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título  
de Ingeniero de Ejecución en Electricidad

Profesor Guía: Juan Carlos Madrigal Lobos.

Javier Alcides Cortes Corso  
Hernester Rigoberto Díaz Chávez

Copiapó, Chile 2023

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar con mucho cariño este proyecto de título a mi amada familia, ya que, sin su apoyo, la dedicación y el esfuerzo en conjunto pude llegar al final de este camino que no estuvo ajeno a dificultades, tanto personales como laborales, al tiempo que me brindaron para lograr un sueño, a mi Señora María Galleguillos como mis Hijos Quira Cortes, Jeffry Cortes y Francisco Cortes que fueron el pilar fundamental. Para todos ellos es esta dedicatoria con un agradecimiento profundo y eterno.

Javier Cortes Corso

## **DEDICATORIA**

A mis Padres, por todos los valores entregados: amor, confianza esfuerzo y perseverancia para lograr mis objetivos, a mi amada esposa Lissette por acompañarme en este viaje de vida y como no, a mis retoños Catalina y Gustavo, mi motivo fundamental para seguir adelante y enseñarles que todo es posible.

Hernester Díaz Chávez

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a todos aquellos quienes fueron un pilar de apoyo en el camino de la enseñanza, a todos aquellos que con algo de paciencia me entregaron su sabiduría y apoyo incondicional para alcanzar este importante logro personal. Vayan estos agradecimientos también a aquellos que me dieron una oportunidad, la oportunidad de crecer tanto en lo profesional como en lo laboral al permitirme desarrollar y realizar este proyecto para entregar todos los conocimientos técnicos adquiridos en años de experiencia en el rubro industrial.

Javier Cortes Corso

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a todos aquellos quienes me acompañaron a terminar este desafío, a mi familia por la paciencia y amor, a mis colegas y amigos Fernando y Moisés, por todas esas horas consumidas de estudio y trabajo, a Juan Madrigal por su gran apoyo y entrega de sus conocimientos y a Javier, por unir fuerzas para lograr nuevamente un objetivo, ¡como en los viejos tiempos Amigo!

Hernester Díaz Chávez

## INDICE

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCION .....	1
1.1 Objetivos .....	2
1.1.1 Objetivo general .....	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
1.1.3 Metodología de trabajo.....	2
CAPÍTULO II .....	3
MARCO TEORICO.....	3
2.1 Aproximaciones conceptuales sobre la escasez de agua y la minería.....	3
2.2 Antecedentes .....	3
2.2.1 Minería y escasez de agua.....	3
2.3 Reseña Compañía Contractual Minera Candelaria .....	4
2.3.1 Descripción general .....	4
2.3.2 Ubicación .....	5
2.4 Desalinización como solución .....	6
2.5 Principio de funcionamiento de un grupo electrógeno .....	10
2.6 Tipos de mantenimiento.....	10
2.6.1 Mantenimiento correctivo .....	10
2.6.2 Mantenimiento preventivo .....	10
2.6.3 Mantenimiento predictivo.....	11
CAPÍTULO III.....	12
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES Y ACTUAL SISTEMA DE RESPALDO AGUAS FRESCAS MINERA CANDELARIA.....	12
3.1 Importancia del sistema de aguas frescas en Minera Candelaria.....	12
3.2 Análisis del área pique mina .....	14
3.3 Análisis del área de reimpulsión .....	16
3.4 Diagrama de flujo de captación de agua .....	17
3.5 Sistema de respaldo existente .....	18
3.6 Componentes utilizados para la generación.....	21

3.7 Definición de los componentes .....	22
CAPÍTULO IV .....	26
OPERACIÓN DEL SISTEMA DE RESPALDO .....	26
4.1 Puesta en servicio en emergencia con motivator .....	27
4.2 Diagrama de distribución en Minera Candelaria .....	31
4.3 Retraso en la producción de la mina por fallas en la línea.....	33
CAPÍTULO V .....	35
DESCRIPCION DEL SISTEMA DE RESPALDO DE ENERGIA ELECTRICA A IMPLEMENTAR.....	35
5.1 Instalación de los equipos .....	35
5.2 Cálculo de conductores de baja tensión y media tensión.....	38
5.3 Cálculo de conductores en baja tensión .....	38
5.4 Cálculo de la caída de tensión en baja tensión.....	42
5.5 Dimensionamiento de conductor media tensión .....	42
5.6 Dimensionamiento alimentador cable Cocesa .....	43
5.7 Resistencia del conductor de media tensión .....	45
5.8 Reactancia del Conductor .....	47
5.9 Control, protección y operación del sistema motor – bomba .....	48
5.9.1 Malla de protección.....	48
5.9.2 Esquema de la malla .....	57
5.9.3 Emplazamiento de los equipos en terreno .....	66
5.9.4 Descripción de las estructuras.....	67
5.9.5 Conexión de equipos en línea de Aguas Frescas .....	70
5.9.6 Modo de operación .....	71
5.9.7 Costos de implementación .....	74
5.9.8 Aportes en seguridad y continuidad operacional .....	76
CAPITULO VI.....	77
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE UNIDADES GENERADORAS .....	77
6.1 Tipos de pauta de mantenimiento .....	78
6.1.1 Pauta inspecciones periódicas (PPM0).....	80
6.1.2 Pauta de mantenimiento preventivo PPM1 .....	80

6.1.3 Pauta de mantenimiento preventivo PPM2.....	81
6.1.4 Pauta de mantenimiento preventivo PPM3.....	81
6.2 Orden de trabajo (OT).....	83
6.2.1 Asignación de prioridades en el desarrollo de los trabajos en una orden .....	83
6.3 Formatos .....	84
6.3.1 Formato Pauta de inspección visual (semanal).....	84
6.3.2 Formato pauta de mantenimiento (mensual, trimestral, semestral, anual) .....	84
6.3.3 Formato pauta protocolos de prueba (después de cada mantenimiento) .....	85
6.4 Programa anual de actividades a realizar en el mantenimiento preventivo .....	85
6.5 Análisis de falla antes y después de la instalación de los equipos. ....	86
CAPITULO VII .....	90
CONCLUSIONES .....	90
BIBLIOGRAFÍA .....	93
GLOSARIO .....	95
ANEXO A.....	98
DATOS ADICIONALES .....	98
Anexo A.1 .....	98
Anexo A.2 .....	99
Anexo A.3 .....	100
Anexo A.4 .....	102
Anexo A.5 .....	103
Anexo A.6 .....	104
Anexo A.7 .....	106
Anexo A.8 .....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 3.1: Descripción de la captación de agua en pique mina. ....	15
Figura N° 3.2: Pantalla en pique mina .....	16
Figura N° 3.3: Área de reimpulsión. ....	17
Figura N° 3.4: Pantalla principal en sala de control. ....	18
Figura N° 3.5: Motivator de 1500 kVA. ....	22
Figura N° 3.6: switch house. ....	23
Figura N° 3.7: Transformador de 6.9 kV a 3,3 kV. ....	24
Figura N° 3.8: Cable minero de 8 kV .....	25
Figura N° 4.1: Diagrama unilineal que involucra grupo motivator. ....	26
Figura N° 4.2: Apertura desconectador DS 18. ....	27
Figura N° 4.3: Apertura de fusibles PP-115 y Cortina .....	28
Figura N° 4.4: Conexión de cables de media tensión. ....	28
Figura N° 4.5: Prueba de secuencia .....	29
Figura N° 4.6: Puesta en servicio de equipos con partida directa. ....	29
Figura N° 4.7: Estabilización de Motivator. ....	30
Figura N° 4.8: Puesta en servicio bombas de reimpulso. ....	30
Figura N° 4.9: Diagrama de distribución mina de Minera Candelaria. ....	32
Figura N° 5.1: Patio de generación. Lugar (Fotografía) emplazamiento patio de generación. ....	37
Figura N° 5.2: Características constructivas conductor XAT cable Cocesa .....	43
Figura N° 5.3: Limpieza de área y nivelación de terreno. ....	50
Figura N° 5.4: Configuración Schlumberger. ....	51
Figura N° 5.5: Gráfica de Comparación Entre Curva Patrón y de Terreno .....	54
Figura N° 5.6: Diagrama de Malla a Tierra de baja tensión. ....	66
Figura N° 5.7: Emplazamiento destinado para el patio de generación eléctrica Minera Candelaria. ....	67
Figura N° 5.8: Diagrama Generador .....	68
Figura N° 5.9: Diagrama Estanque 20.000 Litros con medidas. ....	69
Figura N° 5.10: Diagrama Transformador .....	69

Figura N° 5.11: Configuración de la línea de combustible.....	70
Figura N° 5.12: Diagrama unilineal de Conexión.....	71
Figura N° 5.13: Diagrama unilineal con componentes instalados en terreno. ....	72
Figura N° 5.14: Sistema de distribución con generación conectada.....	73
Figura N° 6.1: Programa anual de mantenimiento.....	85
Figura N° 6.2: Grafica de Pareto análisis de falla antes de instalar los generadores. ....	87
Figura N° 6.3: Grafica de pareto análisis de falla después de instalar los generadores...	89

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 3.1: Cuadro de carga de equipos en pique mina y reimpulso. ....	20
Tabla N° 3.2: Cálculo de carga con tensión en 0.4 kV. ....	20
Tabla N° 3.3: Motivator (Equipo de generación en 1500 kVA).....	21
Tabla N° 3.4: Equipos para puesta en servicio en pique mina y reimpulso.....	21
Tabla N° 4.1: Disponibilidad de equipos en la mina .....	33
Tabla N° 5.1: Propuesta 1 sin estanque de combustible .....	36
Tabla N° 5.2: Equipos para implementación .....	37
Tabla N° 5.3: Factor de Corrección .....	39
Tabla N° 5.4: Cables super flex monoconductor 1000 V .....	41
Tabla N° 5.5: Características constructivas cables de cobre.....	44
Tabla N° 5.6: Coeficiente pelicular para cables de cobre .....	46
Tabla N° 5.7: Instrumento de medición.....	50
Tabla N° 5.8: Valores de resistividad obtenidos.....	53
Tabla N° 5.9: Valores obtenidos según capas geo-eléctricas.....	55
Tabla N° 5.10: Valores típicos de decremento .....	61
Tabla N° 5.11: Estructuras para las fundaciones requeridas.....	68
Tabla N° 5.12: Costos implementación Lureye .....	75
Tabla N° 5.13: Costos implementación CCMC.....	75
Tabla N° 6.1: Distribución de las pautas de mantenimiento.....	79
Tabla N° 6.2: Pareto análisis de falla sin generadores.....	86
Tabla N° 6.3: Pareto análisis de falla con la instalación de los generadores.....	88

## **RESUMEN**

Para realizar el proceso de extracción de minerales es necesario contar con agua, recurso cada vez más escaso, ya sea porque el acuífero natural no se recupera de manera rápida o simplemente porque se agota. Por este motivo la empresa Freeport McMoran Copper & Gold, en el año 2013, realizó una importante inversión en la construcción de una planta desaladora en la ciudad de Caldera para abastecer al proceso de Minera Candelaria en la ciudad de Copiapó. El flujo de agua desalada es direccionado desde la planta desaladora hasta la planta Bodega, cuya longitud de 86 Km es capaz de impulsar 500 L/s. El agua es utilizada para el proceso de obtención del concentrado de cobre y es direccionada hacia piscinas artificiales y recirculadas hacia un Tranque de Relaves, luego de ser utilizadas en el proceso. Para hacer recircular el agua se utilizan sistemas eléctricos motor bomba de grandes potencias, alimentados en media tensión. Basado en esto, el presente proyecto tiene por objetivo describir la instalación de equipos de generación automática para equipos críticos que permiten la recuperación y recirculación de aguas usadas en el proceso, se dan a conocer las características del sistema actual y como opera el sistema de respaldo de energía eléctrica para los equipos de aguas frescas, los beneficios de la instalación de equipos generadores de respaldo con sincronización automática ante la generación de un blackout, se estudian las componentes del equipo y sus principales características y se realiza la propuesta de un plan de mantenimiento diario, mensual y anual de las componentes. La necesidad de instalar un sistema de generación automático, confiable y que permanezca en el tiempo durante la vida útil del área de pique mina y de reimpulso, se genera debido a los diferentes blackout que afectan a la red de alimentación de la compañía, o por diferentes fallas en la línea de aguas frescas que alimentan el área de pique mina y de reimpulso. Al generarse un blackout en el sistema y en ausencia de tiempos de respuestas adecuadas, se pierde el control de los niveles de agua generando rebalses de los estanques de reimpulso e inundaciones en el área.

**DESALADORA - AGUA - ENERGÍA - MANTENIMIENTO**

## **ABSTRACT**

To conduct the mineral extraction process, it is necessary to have water, an increasingly scarce resource, either because the natural aquifer does not recover quickly or simply because it is running out. For this reason, the Freeport McMoRan Copper & Gold company, in 2013, made a significant investment in the construction of a desalination plant in the city of Caldera to supply the Minera Candelaria process in the city of Copiapó. The desalinated water flow is directed from the desalination plant to the Bodega plant, whose length of 86 km is capable of driving 500 L/s. The water is used for the process of obtaining the copper concentrate and is directed towards artificial pools and recirculated towards a Tailings Dam, after being used in the process. To recirculate the water, high-power electric motor-pump systems are used, fed in medium voltage. Based on this, the objective of this project is to describe the installation of automatic generation equipment for critical equipment that allows the recovery and recirculation of water used in the process, the characteristics of the current system and how the backup system operates are disclosed. of electrical energy for freshwater equipment, the benefits of installing backup generator equipment with automatic synchronization in the event of a blackout, the equipment components and their main characteristics are studied, and a maintenance plan proposal is made daily, monthly, and yearly of the components. The need to install an automatic, reliable generation system that remains over time during the useful life of the mine shaft and refueling area, is generated due to the different blackouts that affect the company's power grid, or due to different faults in the freshwater line that feed the mine shaft and reimpulse area. When a blackout occurs in the system and in the absence of adequate response times, control of the water levels is lost, generating overflows from the reimpulse ponds and flooding in the area.

**DESALINATION PLANT - WATER - ENERGY - MAINTENANCE**

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCION**

El agua es esencial para la vida, las comunidades, el medio ambiente y la actividad económica e industrial. Dado el escenario de escasez hídrica en que se ha visto envuelta en los últimos años, la competencia por el agua continúa creciendo. El Foro Económico Mundial reconoce una crisis mundial del agua, y la clasifica como uno de los tres primeros riesgos mundiales. Dicha situación, es posible revertirla sólo si se toman las medidas necesarias para una gestión más eficiente del recurso hídrico. En este contexto de crisis hídrica a nivel mundial Chile no está ajeno (Dirección de Estudios y Políticas Públicas. Comisión Chilena del Cobre, 2020).

En la operación del rajo abierto de Minera Candelaria, existe un sistema de recuperación de las aguas llamado Pique Mina que se alimenta eléctricamente con un nivel de tensión de 23 kV, moto bombas eléctricas de gran potencia y tensión son utilizadas para recuperar las aguas y devolverlas al proceso minero. Como es de gran importancia deben tener un sistema de respaldo que actúe en caso de alguna perturbación en el sistema eléctrico tanto externo como interno. Este sistema de respaldo se basa en la generación de electricidad, mediante grupos electrógenos que deben poseer la capacidad y autonomía para mantener en servicio los equipos cuan sea necesario durante el tiempo que dure la falta de suministro desde la red de distribución de energía eléctrica pagada.

El presente proyecto tiene como fin describir el proceso de reemplazo e implantación del sistema existente en Minera Candelaria para el respaldo del sistema de aguas frescas, se revisará la instalación, costos y el mantenimiento a posterior de las unidades generadoras electrógenas diseñadas para el sistema Pique Mina.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

Describir la instalación de unidades generadoras para respaldo eléctrico del sistema de extracción e impulso de aguas frescas en Minera Candelaria.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- ✚ Describir conceptos técnicos asociados a la implementación de un sistema eléctrico de respaldo y de los equipos generadores electrógenos.
- ✚ Describir los montos de inversión de las unidades generadoras.
- ✚ Cálculo de la malla a tierra respecto a lo referente al pliego técnico RIC 03, 05 y 06,
- ✚ Elaborar pautas de planificación de mantenimiento preventivo, tales como inspección semanal, mensual y anual para las unidades generadoras de respaldo del sistema de extracción de aguas frescas de Minera Candelaria.

### **1.1.3 Metodología de trabajo**

- ✚ Se realiza la descripción de un sistema para la instalación de las unidades generadoras que se necesitan para respaldar la línea de aguas frescas.
- ✚ Una vez revisados los costos y los equipos, se procederá a desarrollar de acuerdo con las normas vigentes, la instalación de las unidades generadoras.
- ✚ Se hará revisión de los cálculos correspondientes a la malla de puesta a tierra y análisis de suelo.
- ✚ Se procederá a elaborar las pautas de mantenimiento de acuerdo las necesidades del tiempo de los equipos.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 Aproximaciones conceptuales sobre la escasez de agua y la minería**

Para el proyecto de reemplazo e implantación del sistema de respaldo eléctrico en Minera Candelaria se basa en varios conceptos clave relacionados con la importancia del agua como recurso esencial y la necesidad de gestionar eficientemente este recurso en un contexto de escasez hídrica. Además, se enfoca en la necesidad de contar con un sistema de respaldo eléctrico confiable para mantener la operación del sistema de extracción e impulso de aguas frescas en la mina.

#### **2.2 Antecedentes**

##### **2.2.1 Minería y escasez de agua**

La extracción de minerales es una actividad que requiere grandes cantidades de agua para el procesamiento de minerales. Sin embargo, en muchas regiones del mundo, el agua es un recurso cada vez más escaso debido a la sobreexplotación de acuíferos naturales y otros factores, como la variabilidad climática. Esta escasez de agua puede tener un impacto significativo en las operaciones mineras y la disponibilidad de recursos hídricos esenciales.

Según lo señalado en el documento realizado por la comisión Chilena del Cobre, sobre el consumo de agua en la minería en el 2019 (2020) manifiesta que Chile no está ajeno de la crisis hídrica, frente a esto, Chile ocupa el lugar 18, calificado con alto riesgo. En tanto, el aumento de la población, así como también el crecimiento del trabajo minero, genera una demanda mayor de agua. Por otro lado, un informe de las naciones unidas (2021) señala que el incremento de las faenas mineras han contribuido aún más en la escasez hídrica puesto que están ubicadas en zonas secas del país (Norte de Chile), también señala que, por ejemplo, por la minería, el agua en el norte tiene concentraciones elevadas de cobre y arsénico, mientras

que los fertilizantes utilizados en la agricultura causan condiciones mesotróficas y eutróficas en las reservas acuíferas en la zona central (Donoso, 2018 citado en Naciones unidas, 2021).

Si bien el uso del agua en la industria minera representa solo el 3% del suministro de agua de Chile (Atlas del agua DGA 2016, citado en Comisión Chilena del Cobre, 2020), muchas de las concesiones y operaciones mineras se ubican en zonas donde la escasez de agua es un factor limitante para el desarrollo regional.

## **2.3 Reseña Compañía Contractual Minera Candelaria**

### **2.3.1 Descripción general**

Compañía Minera Candelaria extrae el material por superficie y subterránea que proporciona mineral de cobre a una planta de procesamiento en el sitio con una capacidad de aproximadamente 75,000 toneladas por día. Dentro del distrito minero se encuentra Ojos del Salado que comprende dos minas subterráneas, Santos y Alcaparrosa.

La planta de procesamiento Pedro Aguirre Cerda (Planta PAC), posee una capacidad aproximada de 3,800 toneladas por día y que recibe el mineral de la mina Santos, mientras que el mineral de la mina Alcaparrosa se trata en la planta de procesamiento de Candelaria.

"Minera Candelaria es una compañía chilena que se dedica a la exploración y explotación cuprífera." ("COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA CANDELARIA - Empresa") Sus instalaciones comprenden una planta de Chancado, una planta Concentradora con 2 molinos SAG de bolas que produce alrededor de 75.000 toneladas métricas por día y 6 molinos, lo que se traduce en una producción promedio de unas 2.500 toneladas diarias de concentrado de cobre. Asimismo, cuenta con un puerto de carguío de concentrado de cobre, Punta Padrones, el que está ubicado en la ciudad de Caldera.

En el año 2013 se realiza la puesta en servicio de la Planta Desaladora convirtiéndose en un ejemplo de una gestión hídrica eficaz que le ha permitido eliminar el consumo de agua proveniente de las napas subterráneas para sus operaciones.

La reserva de mineral fue descubierta en 1987 como un depósito de cobre, oro y óxido de hierro, y no comenzó a operar sino hasta 1993, siendo la primera instalación del mundo en conseguir la certificación ISO14001, gracias a sus sistemas de gestión ambiental. La compañía es controlada por el consorcio minero con capitales canadienses llamado Lundin Mining desde el año 2014.

Desde sus inicios, Candelaria ha logrado el reconocimiento por parte de las autoridades y las comunidades donde realiza sus operaciones por el desarrollo limpio y seguro de sus actividades, las cuales se enmarcan en el cumplimiento de su sistema de gestión ambiental. En cada una de las etapas del proceso se aplica un riguroso control para reducir los posibles impactos ambientales negativos. Ejemplo de ello son los camiones aljibes que operan en la mina utilizando aguas recuperadas a fin de mitigar las emisiones de material particulado producido por las tronaduras y las actividades de carguío y transporte.

En relación con el uso del recurso hídrico, Candelaria ha logrado el reconocimiento nacional y mundial por el exitoso manejo de este vital elemento, reutilizando en su faena industrial como promedio un 88 % de aguas recuperadas.

### **2.3.2 Ubicación**

Minera Candelaria se encuentra ubicada en la región de Atacama, Chile, a una altura de aproximadamente 650 m sobre el nivel del mar, y a una distancia de aproximadamente 20 km al sur de la ciudad de Copiapó. Las vías de acceso a las instalaciones de la minera son dos, por el sur desde la Ruta 5 hacia la ruta C – 397 y por el Este por la comuna de Tierra Amarilla también por la ruta C – 397.

## 2.4 Desalinización como solución

Ante la escasez de agua dulce, las empresas mineras pueden recurrir a la desalinización del agua de mar como una fuente alternativa de suministro. La construcción de plantas desaladoras se ha convertido en una estrategia clave para asegurar el acceso a agua de calidad para sus procesos, como se evidencia en el caso de Freeport McMoran Copper & Gold y la planta desaladora en Caldera.

El agua dulce es un recurso escaso y vital para la minería, que se desarrolla principalmente en zonas áridas. Además, el agua dulce también es necesaria para la agricultura, la ganadería y el consumo humano. Estas demandas generan conflictos por el uso del agua, que se han intensificado por el cambio climático, que reduce las precipitaciones. Frente a este desafío, las empresas mineras y los servicios de agua potable han optado por desalinizar agua de mar, aprovechando las nuevas tecnologías que lo hacen viable y económico.

De acuerdo con “The state of desalination and brine production: A global Outlook. 2019 citando en Saa, R (2022)” están operando 15.906 plantas desalinizadoras que producen 95 millones de m<sup>3</sup>/día de agua desalinizada para consumo humano, de la cual el 48% es producido en el Medio Este y norte de África.

Tal como lo señala Saa. R. (2022) Nuestro país ha sido pionero en materia de desalinización, entre 1872 y 1907 se construyeron tres plantas desaladoras en la Región de Antofagasta, Las Salinas, Domeyko y Sierra Gorda, siendo la primera de éstas la precursora de la tecnología sustentable de desalación y una de las pocas pioneras de las que se tiene información a nivel mundial (Aguas Antofagasta), actualmente el país cuenta con 20 plantas Desalinizadoras. (“Desalinización de agua de mar en el marco de la propuesta constitucional”).

La Corporación para el Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción (2015), define la desalinización como un proceso por el cual se elimina la sal del agua de mar o salobre y se obtiene agua dulce. En minería, la mayoría de las plantas utilizadas emplean la metodología de osmosis inversa. "Entre sus principales componentes se encuentran el sistema de toma/suministro de agua cruda, la bomba de descarga de agua cruda (no tratada) y el pretratamiento, que puede incluir diversos procesos unitarios destinados a eliminar partículas y/o contaminantes que afecten negativamente el proceso. (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2015).

Según Christian Bernet, ingeniero de Procesos Senior de Vigaflow, empresa especializada en desalinización por osmosis inversa, señala que la confiabilidad es clave para el diseño de estas plantas para el sector minero. "El diseño considera los riesgos de falla ante eventos fortuitos y asegura la continuidad de la producción, con etapas críticas redundantes. Además, el sistema de monitoreo y control es robusto", (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2015 s/p).

La instalación y construcción de estas plantas implica varias etapas. Una es la de obras civiles, donde se hacen los radieres, excavaciones, estanques y edificaciones. Otra es la de montaje de equipos, donde se colocan los bastidores con las membranas de osmosis inversa, las bombas de alta y baja presión, los filtros de pretratamiento, los sistemas de dosificación química, la interconexión hidráulica, la instrumentación y el panel de fuerza y control.

La tercera etapa es la de preparación del sistema, donde se cargan los medios filtrantes, las soluciones químicas, los cartridges microfiltrantes y las membranas en los estanques de presión. Luego se hacen las pruebas preliminares, que incluyen los testeos de estanqueidad, eléctricos y de control, y la verificación de instrumentos.

Finalmente, se realiza la puesta en marcha, donde se acondicionan los medios filtrantes, se ajustan las condiciones de pretratamiento, caudal y presiones de alimentación al sistema. "En esta fase se ajustan las dosis de productos químicos y la presión y recuperación del sistema, iniciando así la marcha blanca" (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2015 s/p).

**Sistemas eléctricos para bombas de agua:** El funcionamiento de los sistemas eléctricos motor-bomba de gran potencia es esencial para garantizar el flujo constante de agua y mantener los niveles de agua bajo control. La confiabilidad de estos sistemas es fundamental para evitar posibles desbordamientos e inundaciones en el área minera.

Los sistemas eléctricos para bombas de agua son componentes críticos en las operaciones mineras, ya que se utilizan para mantener los niveles de agua bajo control y prevenir inundaciones en las minas. Algunos aspectos clave a considerar son los siguientes:

**1. Funcionamiento básico:** Estos sistemas constan de un motor eléctrico y una bomba de agua. El motor impulsa la bomba para elevar y mover el agua de un lugar a otro. La potencia del motor y la capacidad de la bomba dependen de los requisitos específicos de la mina.

Las bombas de alta presión son las más utilizadas en la desalinización por ósmosis inversa, y se comercializan en dos tipos de aceros dependiendo del contenido de cloruros en el agua a desalinizar.

Las bombas DSL fabricadas por Desmi son una opción eficaz para los sistemas de destilación de agua o el tratamiento de ósmosis inversa. Las bombas de carcasa partida ANDRITZ sirven para medios puros o ligeramente contaminados o líquidos agresivos, y funcionan en sistemas de tratamiento y aguas residuales. (“Andritz.com, s/f) Los sistemas de impulsión y desalinización de agua de mar constan de componentes principales como sistemas de succión/alimentación de agua cruda, bombas de impulsión de agua cruda, pretratamiento, ósmosis inversa, y sistemas de recuperación de energía. Las estaciones de bombeo deben estar ubicadas estratégicamente a lo largo del trazado de impulsión y tienen por objetivo garantizar la potencia energética necesaria para transportar el agua desde la costa hasta su destino final, según la configuración topográfica de cada sistema.

2. **Control de flujo:** Es esencial mantener un flujo constante de agua en la mina para una operación eficiente y segura. Los sistemas eléctricos pueden estar diseñados para controlar el caudal de agua, lo que permite ajustar la cantidad de agua que se extrae o se recircula según sea necesario.

3. **Confiabilidad:** la confiabilidad de estos sistemas es crítica. Las fallas en el funcionamiento de las bombas de agua pueden provocar desbordamientos e inundaciones, lo que no solo puede causar daños materiales, sino también poner en peligro la seguridad de los trabajadores en la mina.

4. **Monitoreo y mantenimiento:** Los sistemas eléctricos para bombas de agua suelen estar equipados con sistemas de monitoreo que pueden detectar problemas antes de que se conviertan en fallas graves. El mantenimiento regular es esencial para garantizar que estas bombas funcionen de manera óptima.

5. **Automatización:** En muchas operaciones mineras modernas, estos sistemas se automatizan para ajustarse automáticamente a las fluctuaciones en la demanda de agua. Esto ayuda a optimizar el uso de energía y a mantener los niveles de agua dentro de rangos seguros.

6. **Eficiencia energética:** La eficiencia energética es un aspecto importante para considerar, ya que las operaciones mineras suelen ser intensivas en energía. Los sistemas eléctricos deben estar diseñados para minimizar el consumo de energía sin comprometer la funcionalidad.

En resumen, los sistemas eléctricos para bombas de agua son fundamentales en la industria minera para garantizar un flujo constante de agua y prevenir inundaciones. La confiabilidad, el control de flujo, el monitoreo, el mantenimiento y la eficiencia energética son aspectos claves a considerar en el diseño y la operación de estos sistemas.

**Respaldo de energía eléctrica:** La interrupción de la energía eléctrica, como los blackout, puede tener graves consecuencias en la operación de los equipos críticos, especialmente en el control de los niveles de agua. La instalación de equipos generadores de respaldo con sincronización automática es una estrategia clave para garantizar la continuidad de las operaciones en caso de fallos en el suministro eléctrico.

## **2.5 Principio de funcionamiento de un grupo electrógeno**

El funcionamiento de un grupo electrógeno se basa en una doble conversión de energía, es decir, de térmica a mecánica y de mecánica a electromagnética. Mediante un motor de combustión interna diésel y a través de un eje mecánico que mueve un alternador y que crea la función de generar la energía eléctrica de la cual se proveerá a la red de respaldo.

## **2.6 Tipos de mantenimiento**

### **2.6.1 Mantenimiento correctivo**

Se denomina mantenimiento correctivo a todos los servicios ejecutados en los equipos con fallas corrigiendo los defectos observados en los equipamientos o instalaciones, es la forma más básica de mantenimiento. Este mantenimiento es el que se realiza luego que ocurra una falla o avería en el equipo que por su naturaleza no pueden planificarse en el tiempo, presenta costos por reparación y repuestos no presupuestadas, pues implica el cambio de algunas piezas del equipo.

### **2.6.2 Mantenimiento preventivo**

Es el mantenimiento que se realiza con el fin de prevenir la ocurrencia de fallas y mantener a un determinado nivel en los equipos, se baja en ajustes, conservación y eliminación de defectos, buscando evitar fallas.

### **2.6.3 Mantenimiento predictivo**

Son una serie de acciones que se ejecutan con el objetivo de realizar un seguimiento del desgaste de una o más piezas o componentes del equipo, a través del análisis de síntomas o estimativa hecha por evaluación estadística, con el objetivo de predecir el comportamiento de esas piezas o componentes y determinar el punto exacto de cambio o reparación.

### **CAPÍTULO III**

## **CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES Y ACTUAL SISTEMA DE RESPALDO**

### **AGUAS FRESCAS MINERA CANDELARIA**

El recurso hídrico es fundamental para los procesos mineros, es un recurso estratégico ya que es esencial para el procesamiento de los minerales y control de la polución en los caminos del rajo y las instalaciones de la minera. Como contexto nacional, el consumo de agua por parte del sector minero alcanza el 3 % según información entregada por la Dirección General de Aguas (DGA). (Dirección de estudios y Políticas Públicas. Comisión Chilena del Cobre, 2020)

#### **3.1 Importancia del sistema de aguas frescas en Minera Candelaria**

En minera Candelaria, el agua es extraída del rajo mediante dos sistemas, un sistema llamado desagüe mina que consiste en retirar el recurso hídrico cada cierto tiempo del fondo del rajo, extraído mediante estaciones de bombeos móviles para permitir continuar con el desarrollo del rajo. El otro sistema y el más importante, llamado pique mina que extrae el flujo de agua proveniente de las infiltraciones del muro del tranque de relaves.

El área pique mina y reimpulso es de vital importancia para el proceso productivo de Minera Candelaria ya que además nos permite recuperar cerca de 900 m<sup>3</sup>/hr de agua desde las filtraciones del tranque de relaves para la producción. Esta recuperación permite realizar mediante la recirculación de agua ya utilizada y expulsada al tranque con relaves y mediante un proceso de filtración controlada es direccionada hacia el pique mina.

Al realizar esta recuperación y recirculación nos permite mitigar el proceso de producción de agua desde la Planta Desalinizadora, ya que para el proceso de producción es necesario cerca de 1000 m<sup>3</sup>/h de aguas frescas y 7000 m<sup>3</sup>/h de proceso.

Nos enfocaremos en el sistema de respaldo para la extracción del agua del Pique Mina, debido a su importancia para la continuidad de operación diaria de la mina, ya que, sin el funcionamiento óptimo de este sistema, los caminos de la mina no serían transitables, los muros colapsarían pudiendo producir daños a los equipos, a las personas y finalmente la detención de la producción de la minera por falta de material y desde el punto de vista medio ambiental la contaminación de las napas subterráneas, al traspasarse las aguas disidentes del tranque.

El sistema pique mina se divide en 2 áreas, una es la extracción del agua que es direccionada mediante túneles desde el tranque de relaves a pique mina y la otra es el área de reimpulso que permite impulsar el agua hacia el proceso debido a que existe una gran altura geográfica.

El sistema eléctrico del pique mina cuenta con:

- ✚ 1 celda switch gear de alimentación principal en media tensión en 3.3 kV.
- ✚ 3 celdas de media tensión en 3.3 kV, con partidor directo para cada motor.
- ✚ 3 motores eléctricos de media tensión en 3.3 kV, 260 kW.
- ✚ 1 CCM con partidor suave en baja tensión 380 V, 180 kW.
- ✚ 1 motor en baja tensión 380 V, 180 kW.
- ✚ 1 CCM en baja tensión 380 V, con dos partidas estrella triángulo para motores de 185 kW y 90 kW respectivamente.
- ✚ 1 motor en baja tensión 380 V, 138 kW
- ✚ 1 motor de baja tensión 380 V, 60 kW.

El subsistema de reimpulsión cuenta con:

- ✚ 4 partidores suaves en baja tensión, 380 V, 250 kW.
- ✚ 2 variadores de frecuencia en baja tensión, 380 V, 250 kW.
- ✚ 6 motores eléctricos en baja tensión, 380 V, 250 kW.

### 3.2 Análisis del área pique mina

Antes de comenzar con el análisis se realizará una pequeña introducción del funcionamiento del pique mina, muro corta fugas y del área de reimpulso que se puede observar en figura N° 3.1 para lograr entender de mejor forma el proceso.

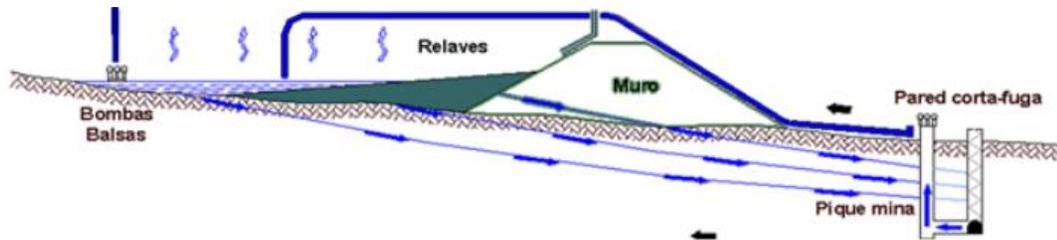
✚ **Pique mina:** Esta área es de vital importancia para el proceso de producción y continuidad operacional de minera candelaria ya que es donde se reciben todas las aguas ya utilizadas en el proceso que son impulsada al tranque de relaves para ser acumuladas y por un proceso de filtración es captada mediante túneles con dirección al pique mina. En esta área el agua es retenida en la pared corta fugas y por sistema de bombeo es impulsada al área de reimpulso para ser utilizada nuevamente en el proceso o redirigida al tranque de relaves.

✚ **Pared corta fugas:** Depósito en el cual el muro es construido para la retención y acumulación del agua filtrada.

✚ **Reimpulso:** Es el sistema de bombeo que permite llegar con el agua captada desde Pique mina al proceso, ya que con la altura geográfica desde el punto de captación sin pasar por el área de reimpulso sería imposible poder sostener la extracción y la recirculación del agua, además de aprovechar el recurso para la producción.

En una de las visitas realizada al pique mina, se logró detectar que el sistema de alimentación a los equipos de extracción de agua no cuenta con un sistema de respaldo permanente y confiable, ya que al ocurrir un corte de energía en la línea de agua fresca el tiempo de respuesta es muy lento versus a la entrada de caudal de agua al área. Además, se debe realizar un gran movimiento de equipos para poder energizar un porcentaje de motores de acuerdo con la capacidad del motivator.

Los esfuerzos por resolver los problemas, tanto del área de operaciones planta como de operaciones mina, para satisfacer la seguridad de los equipos y por sobre todo el de las personas que, al enfrentarse en este escenario, corren un alto riesgo por las inundaciones del sector y el movimiento de equipos en la mina.



**Figura N° 3.1: Descripción de la captación de agua en pique mina.**

Fuente: fotografía tomada del documento de la construcción de tranque de Minera Candelaria. Año 1995.

En esta descripción de las áreas se quiere dar a conocer la importancia del significado de la extracción de agua en estos puntos, ya que al dejar de realizar el bombeo hacia reimpulso, el sector del pique mina comenzaría a inundarse, trayendo consigo la posible contaminación de napas subterráneas, corte de caminos en el sector del rajo, rodaduras de bancos adyacentes e inundación de áreas para tronaduras.

En figura N° 3.2 se puede observar el agua que llega al pique mina es direccionada mediante un túnel desde el tranque de relaves debidamente construido para controlar el caudal y no se desvíe hacia las napas del río Copiapó.

Esta agua es captada mediante bombas y con motores verticales, que se observa en la figura N° 3.2, son los que impulsan el agua hacia los estanques de reimpulso para luego inyectarlos al proceso.

Esta recuperación de agua o recirculación de agua ya utilizada permite recuperar cerca de 900 m<sup>3</sup>/h.



**Figura N° 3.2: Pantalla en pique mina**

Fuente: fotografía de la pantalla de monitoreo de bombas pique mina Minera Candelaria.

### 3.3 Análisis del área de reimpulsión

En figura N° 3.3 se observa que en el área de reimpulsión se reciben las aguas de pique mina y otras áreas de bombeo aledañas al rajo mina las cuales al ser recibidas en los estanques de reimpulso estas son enviadas mediante el sistema de bombeo al proceso, permitiendo reutilizar y continuar con el ciclo de producción.



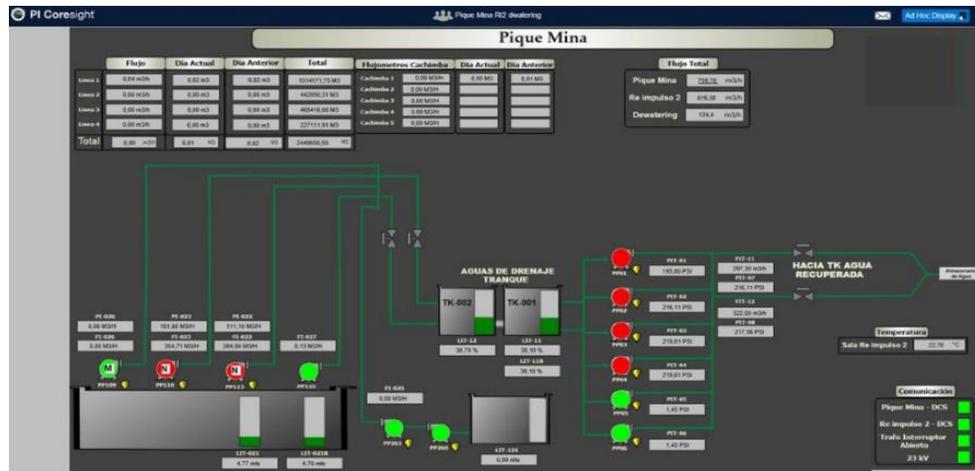
**Figura N° 3.3: Área de reimpulsión.**

Fuente: fotografía tomada de la pantalla de monitoreo de bombas reimpulsión Minera Candelaria.

De acuerdo con la descripción de las áreas se procede a efectuar el proyecto de la instalación de un sistema de generación para respaldar estas áreas críticas que por lo que se puede observar aporta cerca de un 88 % de agua recuperada al proceso.

### 3.4 Diagrama de flujo de captación de agua

A continuación, la figura N° 3.4 muestra el diagrama de flujo general, que permite realizar una recirculación de agua que es captada desde el túnel de infiltración del tranque de relaves y extraída desde el área de pique mina para ser impulsadas hacia el área de reimpulso y posterior hacia los estanques de aguas recuperadas.



**Figura N° 3.4: Pantalla principal en sala de control.**

Fuente: fotografía tomada de la pantalla de monitoreo sala de control de Minera Candelaria.

### 3.5 Sistema de respaldo existente

Antes de realizar la instalación de la nueva generación y al producirse un blackout en la línea de alimentación a pique mina, se cuenta con un equipo de generación de 1500 kVA, que en su interior lleva un transformador elevador de 0.4 kV a 6.9 kV y que de acuerdo con su capacidad solo permite poner en servicio no más de dos motores (bombas de extracción), en pique mina y dos motores en el área de reimpulso. Este equipo es conocido como el motivator.

Para poner en servicio el sistema de respaldo, el motivator se instala y se conecta al transformador reductor en media tensión cuya potencia es de 1000 kVA y una tensión de 6.9 kV a 3.3 kV. Esto, eventualmente ante un blackout, toma su tiempo debido a que el motivator también es utilizado en otras áreas de la mina, ya sea como respaldo para mantenciones en las palas electromecánicas como también en el traslado de estas a diferentes puntos del rajo, teniendo como consecuencia demoras en el traslado hacia el pique mina y su conexión a este.

El motivator una vez posicionado y conectado, se procede con las maniobras para la re-energización de los equipos, en este caso se realiza la bajada de las cargas dejando en servicio solo dos motores de media tensión en el pique mina y dos motores en la reimpulsión, en este caso los que cuentan con variador de frecuencia para que en la partida de estos motores los peacks de corriente sean controlados y no elevados evitando el excesivo consumo de corriente al motivator.

Al respaldar el sistema se evita el rebalse del pique mina, el rebalse traería consigo el deterioro de la rampa de tránsito de camiones y lo que es peor aún, la contaminación de las napas subterráneas.

La metodología de trabajo para implementar los equipos de generación se realiza en varios pasos, ya que dentro del análisis se deben efectuar reuniones con las áreas ya descritas de mantenimiento y operaciones, solicitar apoyo a los técnicos especialistas que fabrican los equipos y componentes, una vez, llevada a cabo la ronda de reuniones se comienza con los trabajos y posterior a la instalación se efectuarán las pruebas, si estas son satisfactorias para el grupo, esta se toma como resultado final y su aplicación definitiva con posibilidad de cambio, es decir, queda abierta la posibilidad de agregar mejoras a lo implementado.

Para poder abastecer con energía a pique mina y reimpulso, con este equipo de generación solo se puede energizar una carga determinada ya que con la capacidad de generación que se obtiene del motivator no es suficiente para todas las áreas de impulsión ya descritas.

A continuación, se describen los equipos del área de captación de aguas de reimpulso asociados a pique mina en tabla N° 3.1.

**Tabla N° 3.1: Cuadro de carga de equipos en pique mina y reimpulso.**

Área	Cantidad de equipos	Potencia	Tipo de partida	Tensión	Corriente
Motores Pique	03	260 kW	Directa	3,3 kV	55 A
Mina	01	180 kW	P/S	0,4 kV	325 A
Mina	01	60 kW	Y/D	0,4 kV	107 A
Motores reimpulsión	01	138 kW	Y/D	0,4 kV	248 A
	04	250 kW	P/S	0,4 kV	450 A
	02	250 kW	VDF	0,4 kV	450 A

Fuente: elaboración Propia.

Al realizar el cálculo de corriente para la generación, se debe tomar en cuenta la potencia de los equipos con un nivel de tensión en 0,4 kV ya que al tener dos motores en partida directa en 3.3 kV y dos motores con partida suave en 0,4 kV es el equipo (motivator) quien recibe el golpe de carga.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V_L * \cos\phi} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 3.1})$$

Capacidad de carga total calculada con el nivel de tensión en 0.4 kV para reimpulso y pique mina representada en tabla N° 3.2

**Tabla N° 3.2: Cálculo de carga con tensión en 0.4 kV.**

Cantidad de equipos	Potencia total (MW)	Tipo de partida	Tensión (kV)	Corriente Total (A)
12	2658	Directa	0,4	4795

Fuente: elaboración Propia.

A continuación, en la tabla N° 3.3 se describen los datos del equipo de generación motivator.

**Tabla N° 3.3: Motivator (Equipo de generación en 1500 kVA).**

Equipo	Cantidad de equipos	Potencia (kVA)	Tipo de partida	Tensión (kV)	Corriente (A)
Motivator	01	1500	Directa	0,4 a 6,9	2160 / 125

Fuente: elaboración Propia.

De acuerdo con lo representado en las tablas anteriores y asociados a la capacidad de potencia que entrega el equipo de generación motivator, solo se puede efectuar la puesta en servicio de algunos equipos como se describe en tabla N° 3.4.

**Tabla N° 3.4: Equipos para puesta en servicio en pique mina y reimpulso.**

Área	Cantidad		Tipo de Partida	Tensión	Corriente
	De	Potencia			
Pique Mina	02	260 kW	Directa	3,3 kV	55 A
Reimpulsión	02	250 kW	VDF	0,4 kV	450 A
Consumo	04	1,02 MW	-----	0,4 kV	1844 A

Fuente: elaboración propia.

### 3.6 Componentes utilizados para la generación

A continuación, se describen los componentes utilizados para respaldar las áreas de impulsión y extracción de agua.

01 generador motivator de 1500 kVA con transformador de 0.4 kV a 6.9 kV.

01 cabina switch house (sistema de protección de cable y equipo minero).

01 transformador elevador de 6.9 kV a 3.3 kV (transformador de 2 kVA).

03 cables mineros con enchufes.

### 3.7 Definición de los componentes

Algunas definiciones para comprender de mejor forma los equipos y componentes que se implementan cuando se genera un blackout o falla en la línea de agua fresca.

- a) **Motivator:** Es un sistema de transmisión diésel eléctrico como se observa en figura N° 3.5, la transmisión diésel-eléctrica (o sistema de propulsión diésel-eléctrica) es utilizada por varios tipos de vehículos, tanto terrestres como navales, para proporcionar locomoción. Un sistema de transmisión diésel-eléctrico incluye un motor diésel conectado a un generador eléctrico, creando electricidad que alimenta motores de tracción eléctrica. Antes del uso generalizado de los motores diésel, un sistema similar, usando motor de gasolina o incluso turbinas de vapor por lo que de forma genérica se llama transmisión mecánica-eléctrica o simplemente transmisión eléctrica cuando se sobreentiende que hablamos de un vehículo.



**Figura N° 3.5: Motivator de 1500 kVA.**

Fuente: fotografía tomada a equipo de generación autónoma para el movimiento de palas eléctricas de Minera Candelaria.

- b) **Switch House:** En la figura N° 3.6 se muestra un tipo switch house que se utilizan en la minería. La switch house es una caseta que consiste básicamente en un sistema de fuerza, control y protección de la energía que alimenta los equipos de producción como palas eléctricas, perforadoras, s/e móviles u otros dispositivos, ya que consisten con una salida de 6.9 kV.



**Figura N° 3.6: switch house.**

Fuente: fotografía tomada a cabina de fuerza, control y protección de la energía para equipos de extracción de Minera Candelaria.

- c) **Transformador de 6.9 kV a 3.3 kV:** En figura N° 3.7 se muestra un transformador el cual está constituido por un núcleo de material magnético que forma un circuito magnético cerrado, y sobre estas columnas o piernas se localizan devanados, uno denominado “primario” que recibe la energía y el otro el secundario, que se cierra sobre un circuito de utilización al cual entrega la energía. Los dos devanados se encuentran eléctricamente aislados entre sí.



**Figura N° 3.7: Transformador de 6.9 kV a 3,3 kV.**

Fuente: Fotografía Tomada a equipo para bajar la tensión ubicado en pique mina de Minera Candelaria.

**d) Cables mineros:** La alimentación eléctrica a las palas es en media tensión y se realiza desde una red eléctrica de distribución. La tensión de dicha red es de 6,9 kV. Esta red proviene de una subestación de 23 kV a 6,9 kV que por lo general es móvil. Las exigentes condiciones en las operaciones mineras requieren que los cables eléctricos de arrastre para alimentar a las palas sean diseñados con los más altos estándares de fabricación, como se aprecia en la figura N° 3.8.

- ✚ Los conductores de fuerza son fabricados de cobre flexible estañado clase 5, de acuerdo con IEC 60228.
- ✚ Una aislación con excelentes propiedades dieléctricas y térmicas de alta calidad, resistente al ozono.

- ✚ Monitor de tierra o hilo piloto de cobre clase 5, sección 16 mm<sup>2</sup>, extra flexible con aislamiento de Thermoplastic Elastomer (TPE).



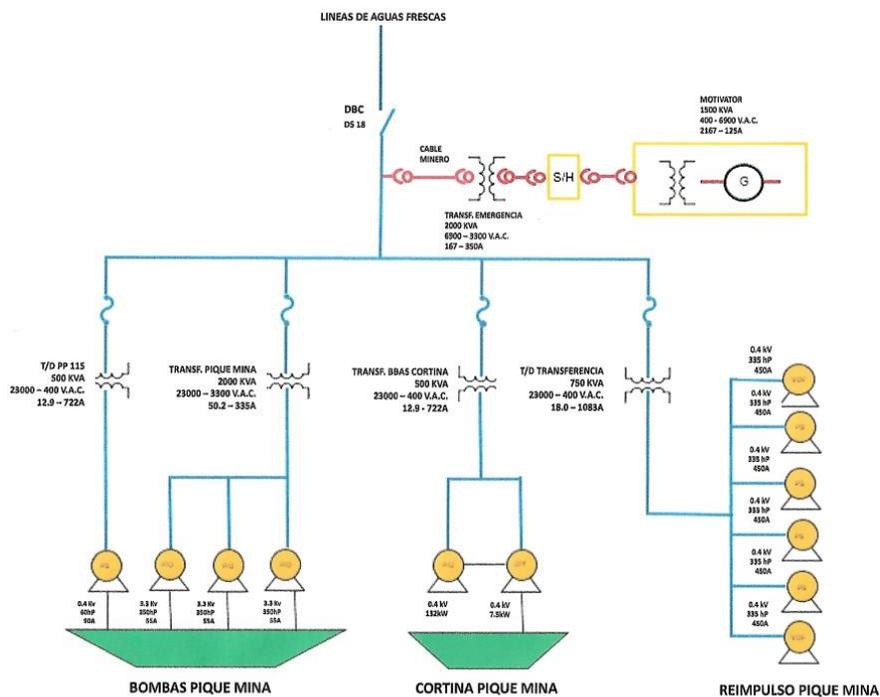
**Figura N° 3.8: Cable minero de 8 kV.**

Fuente: fotografía tomada a cable minero para movimiento de equipos de Minera Candelaria.

## CAPÍTULO IV

### OPERACIÓN DEL SISTEMA DE RESPALDO

Dados a conocer los componentes asociados a la implementación que se realiza para salir de una emergencia en caso de una detención de los equipos por fallas en la línea de aguas frescas, se dará a conocer el esquema unilineal (figura N° 4.1), el cual involucra la conexión del motivator para sustentar las áreas descritas.



**Figura N° 4.1: Diagrama unilineal que involucra grupo motivator.**

Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar que, al realizar esta conexión con el motivator en la línea de aguas frescas, permite solo poner en servicio 02 equipos con un nivel de tensión de 3.3 kV en el área de pique mina y 02 con nivel de tensión en 0,4 kV en lo que se refiere al reimpulso de acuerdo con su capacidad.

Para continuar con lo complejo que es instalar estos equipos y mantener la seguridad de los trabajadores y de los equipos se explica el procedimiento que se realiza para efectuar dicha conexión a la línea de aguas frescas.

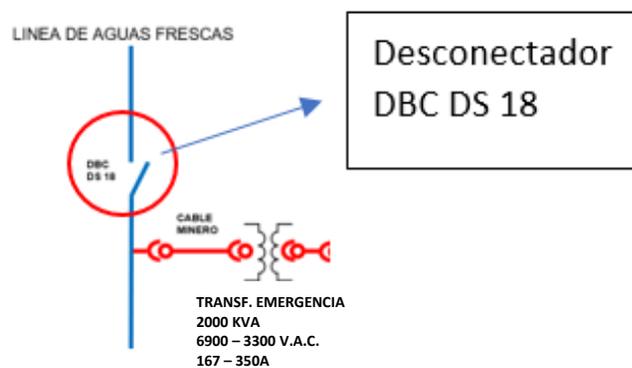
#### 4.1 Puesta en servicio en emergencia con motivator

Para la puesta en servicio con los equipos ya descritos, es necesario verificar si están operativos y con su mantenimiento al día, ya que al ser utilizados en el área de impulsión en ocasiones no se tiene la claridad de la reposición o solución de la falla que se pueda presentar.

Para efectuar la instalación de los equipos se deben hacer varias maniobras para no generar retorno de energía a los equipos y además se debe verificar su secuencia y faseo.

Estas maniobras se darán a conocer en los siguientes pasos:

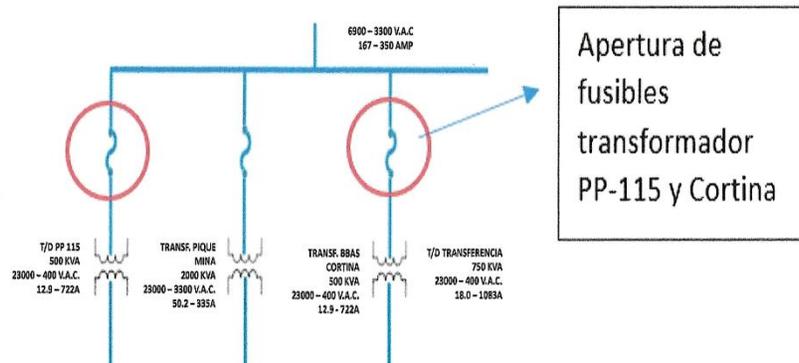
1. Realizar apertura a desconectador DBC DS 18 como se muestra en figura N° 4.2.



**Figura N° 4.2: Apertura desconectador DS 18.**

Fuente: elaboración propia.

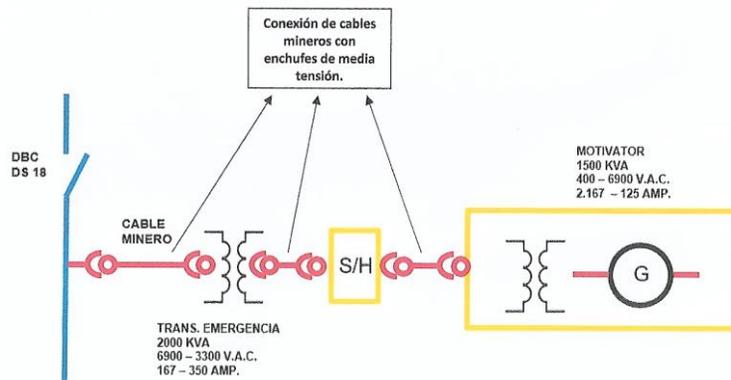
2. Abrir fusibles de transformador de la PP 115 y bombas de cortina. Ver la figura N° 4.3.



**Figura N° 4.3: Apertura de fusibles PP-115 y Cortina**

Fuente: elaboración propia.

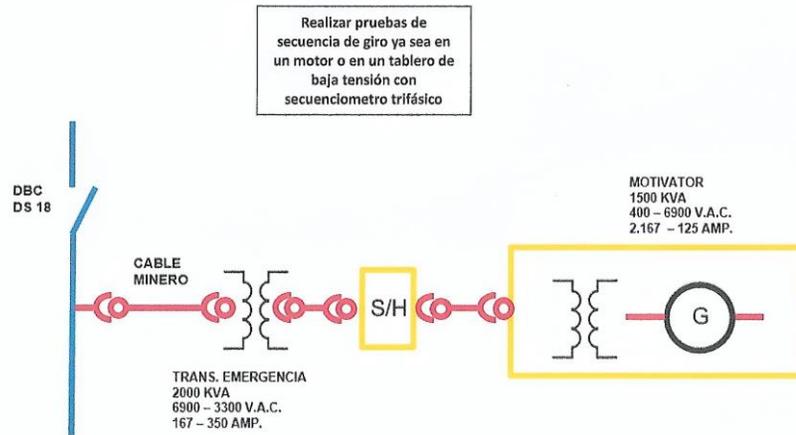
3. Realizar conexión de cable minero con enchufe de media tensión en barras de pique mina, switch house, transformador de 6.9 kV a 3,3 kV y motivator como se muestra en figura N° 4.4.



**Figura N° 4.4: Conexión de cables de media tensión.**

Fuente: elaboración propia.

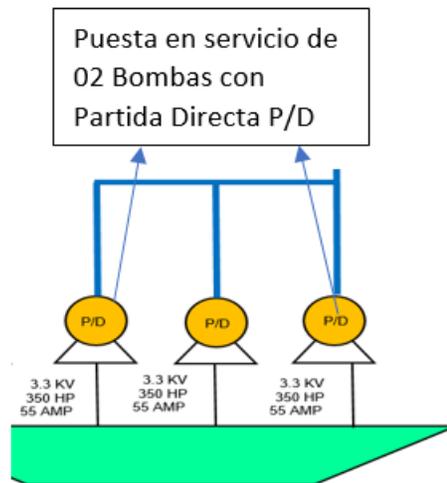
4. Realizar pruebas de secuencia pique mina de acuerdo con puesta en servicio de motivator para verificación de giro en equipos como se indica en figura N° 4.5.



**Figura N° 4.5: Prueba de secuencia**

Fuente: elaboración propia.

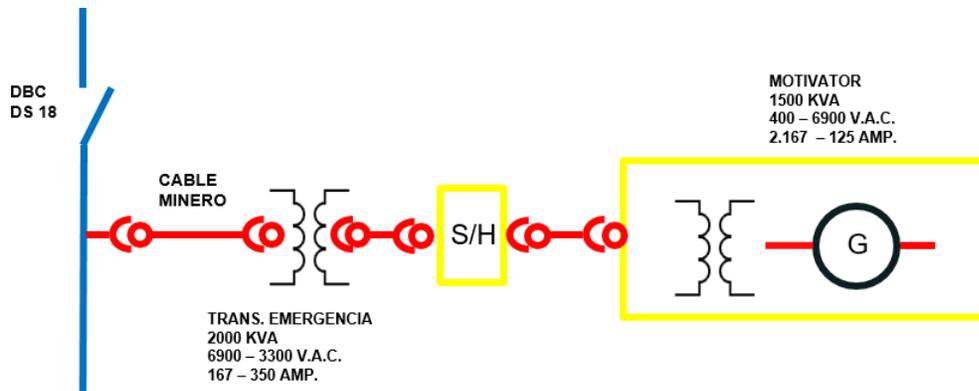
- Realizar puesta en servicio de una bomba de 3,3 Kv (partida directa), según figura N° 4.6.



**Figura N° 4.6: Puesta en servicio de equipos con partida directa.**

Fuente: elaboración propia.

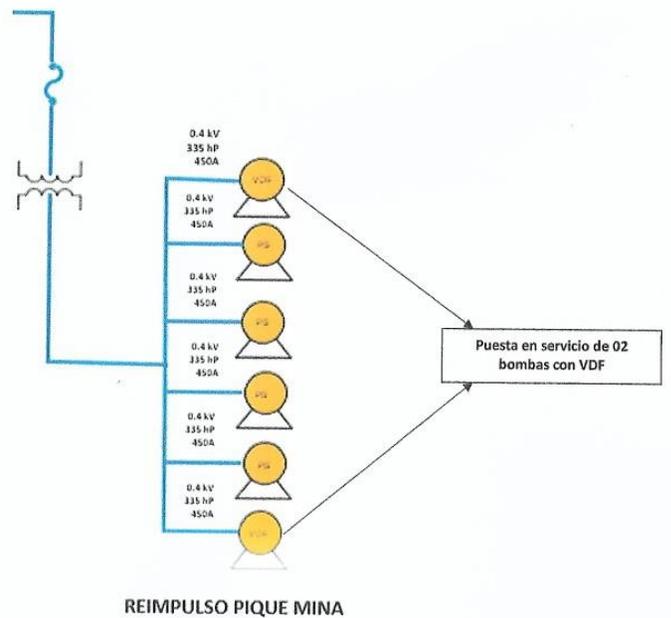
- Esperar estabilización de generador y efectuar puesta en servicio de la segunda bomba de Pique mina. Ver la figura N° 4.7.



**Figura N° 4.7: Estabilización de Motivator.**

Fuente: elaboración propia.

7. Efectuar puesta en servicio de bombas de reimpulsión con VDF solo 02 equipos y uno a la vez como se indica en figura N° 4.8.



**Figura N° 4.8: Puesta en servicio bombas de reimpulso.**

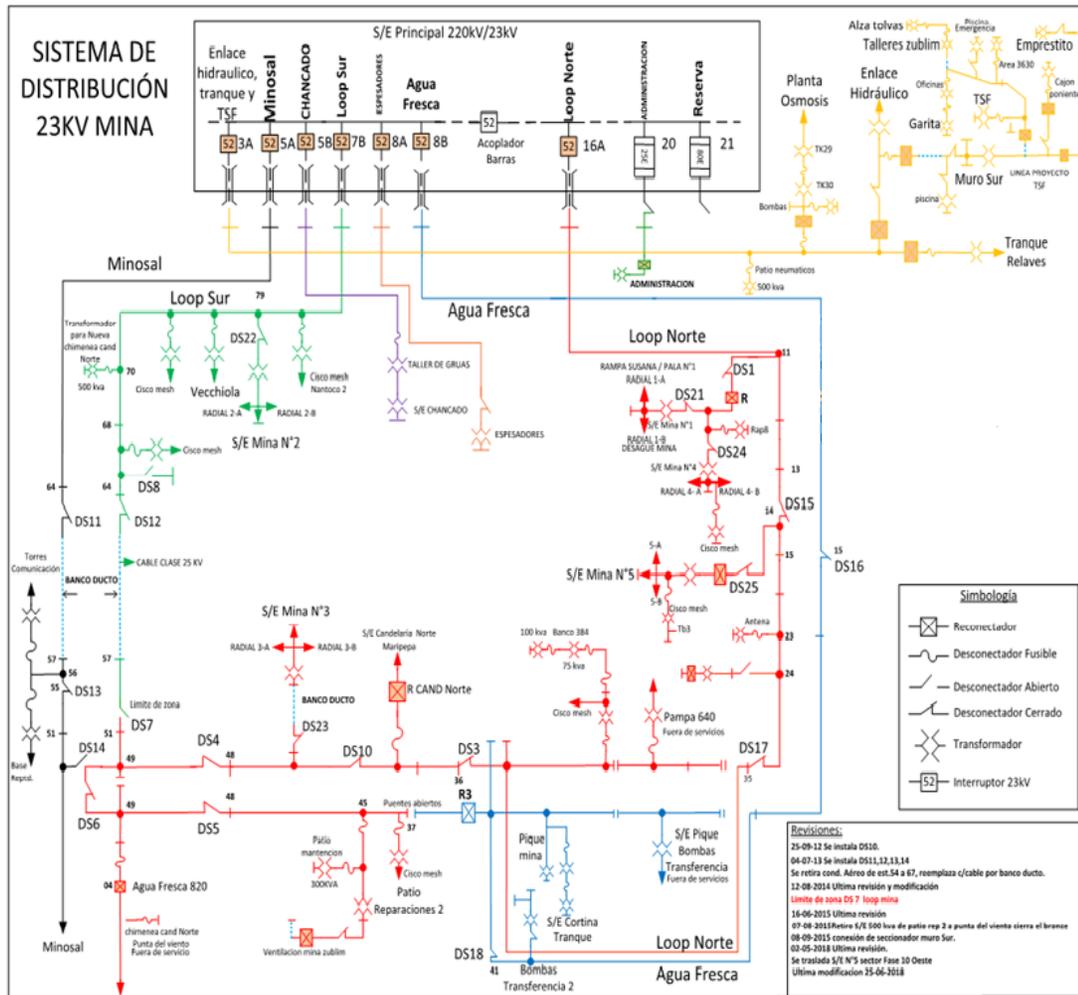
Fuente: elaboración propia.

## 4.2 Diagrama de distribución en Minera Candelaria

El sistema de distribución de Minera Candelaria está diseñado para abastecer con energía las áreas que se nombran a continuación.

- ✚ Enlace hidráulico y tranque.
- ✚ Minsal.
- ✚ Chancado.
- ✚ Loop sur.
- ✚ Espesadores.
- ✚ Agua fresca.
- ✚ Loop norte.
- ✚ Administración.

Este proyecto se enfocará en la línea de aguas frescas como se muestra en diagrama de distribución en la figura N° 4.9, ya que es la más preocupante para el proceso y para las áreas de extracción de la mina.



**Figura N° 4.9: Diagrama de distribución mina de Minera Candelaria.**

Fuente: fotografía tomada de plano de distribución eléctrica de Minera Candelaria.

Al tener falla en la línea de agua fresca como se aprecia el diagrama, esta deja de suministrar con energía a los puntos pique mina, subestación cortina pique mina y sistema de transferencia (reimpulso y pique mina), al ocasionarse esta condición se procede a realizar gestiones con las áreas involucradas en el proceso, para gestionar recursos necesarios y mitigar el daño según falla encontrada en la línea.

Para gestionar estos recursos en ocasiones es necesario detener algunos procesos como traslado de palas en la mina ya que para realizar el movimiento de estos equipos en la rampa es necesario el motivator y además de ubicación de cables mineros que estén disponibles para poder realizar conexión de equipos y efectuar extracción de agua desde pique mina y reimpulso.

Cabe mencionar que si existe una falla en la línea de aguas fresca durante el día tal vez la respuesta es un poco más rápida ya que se cuenta con los medios necesarios y el personal adecuado para efectuar el traslado del motivator al punto destinado, coordinar con personal de servicio de la mina para traslado de cables y personal eléctrico para su conexión y puesta en servicio de pique mina y reimpulso. Si la falla ocurre durante la noche no se cuenta con personal, ya que la dotación disminuye y los tiempos de respuesta aumentan considerablemente.

#### 4.3 Retraso en la producción de la mina por fallas en la línea

En el proceso de extracción en minera candelaria la capacidad de las palas de extracción es de 2800 Ton/h, lo que involucra el carguío y movimiento de camiones de acuerdo con punto y nivel de extracción en que se encuentre, estos equipos tienen una disponibilidad de cerca de 21 h/día en la tabla N° 4.1: se da a conocer la disponibilidad de equipos.

**Tabla N° 4.1: Disponibilidad de equipos en la mina**

Equipos Mineros	Disponibilidad horas	Producción por hora	Perdidas de producción en el Turno
Palas de extracción.	21	2800 Ton/h	22.400 Ton.
Camiones de extracción.	24	243 Ton/h	15 Camiones/h.

Fuente: datos entregados por personal de producción de Minera Candelaria.

Los traslados de las palas de acuerdo con coordinaciones demoran cerca de 12 h, dependiendo el nivel en que se encuentren y el punto de traslado.

Al tener fallas en la línea y depender de estos equipos la producción y su planificación se retrasará de acuerdo con lo que dure la falla que por lo normal estas se pueden extender hasta 5 h, también tomando el tiempo de traslado y de conexión de los equipos, posterior a esto también considerando los tiempos de normalización de las áreas cuando se retome la energía de la red se considera un retraso total de 8 h.

Si se detiene el movimiento de material en toneladas durante las 8 horas adicionales al traslado de la pala, más el bajo flujo de camiones de extracción que serían cerca de los 15 camiones por Hora según la saca de material por hora y el movimiento de las HH necesarias para poner los equipos en servicio, se pierden varios millones de dólares en producción, ya que el costo por tener una línea detenida en el área de producción es de USD \$ 62.000 la Hora.

$$\text{Detención de producción} = 8 * \text{USD} \$ 62.000 = \text{USD} \$ 496.000 \text{ dólares.} \quad (\text{Ec. 4.1})$$

## **CAPÍTULO V**

### **DESCRIPCION DEL SISTEMA DE RESPALDO DE ENERGIA ELECTRICA A IMPLEMENTAR**

En las próximas líneas, se describe la instalación de una central de generación, que se conecte o enlace con la línea de aguas fresca, la cual permitirá mantener el área mina con sus recursos disponibles y de acuerdo con su planificación se mantenga sin interrupción, y para el área de producción con su suministro de agua ininterrumpido para el proceso y sin pérdidas en la línea de producción.

La finalidad de instalar esta central de generación es mitigar los derrames y detenciones en los equipos de extracción y de reimpulso, para así no provocar una contaminación en la cuenca del río Copiapó, ya que al no contar con los recursos necesarios en un tiempo determinado se puede ocasionar una contaminación en las aguas, además permite minimizar los costos de extracción del mineral y mantener los equipos de producción sin interrupción por causa de fallas eléctricas, a su vez minimizar el esfuerzo que realiza el personal de taller eléctrico y de apoyo en el área mina, ya que al generarse una falla en la línea de aguas frescas durante el día o la noche genera una gran cantidad de movimiento de HH, por lo demás permitiría mantener la impulsión de agua en la línea de producción minimizando las detenciones en el proceso de producción.

Con la implementación de la central de generación y la conexión a la línea de aguas frescas, permitirá mantener en servicio todos los equipos en las áreas y no discriminar por carga suministrada para la extracción de agua en pique mina y reimpulso.

#### **5.1 Instalación de los equipos**

Para poder efectuar la instalación de los equipos, lo primero que se realiza es un estudio mediante propuestas económicas a diferentes empresas para poder adquirirlos previo estudio de capacidad de carga, que se requiere para mantener los equipos en el área de extracción y de reimpulso.

Para adquirir la propuesta se entrega un requerimiento de potencia de 4.000 kVA, más un transformador elevador de 0.4 kV a 23 kV de 4.000 kVA para implementar la central de generación.

Al recibir las propuestas económicas de diferentes empresas, comienza el estudio de costos de implementación. A continuación, en la tabla N° 5.1 se dará a conocer las propuestas económicas recibidas para el proyecto.

**Tabla N° 5.1: Propuesta 1 sin estanque de combustible**

Equipo Generación	Motor	Consumo L/h)	Plazo de Entrega	Costo USD\$
Lureye 3200 kW Prime.	MTU Detroit 16V4000, Alemán,	802	4 Semanas	970.000
Detroit 2500 kW Prime.	MTU Detroit 16V4000, Alemán,	660	17-19 Semanas.	900.000
Cummins 3000 kW, Prime.	Cummins. USA	636	17 Semanas.	1.200.000
Finning 3200 kW, Prime.	CAT 3516B, USA	806	8 Semanas	1.555.898
Finning 2400 kW Prime.	CAT C32	642	4 Semanas	1.144.230

**Nota:** Propuestas económicas presentadas por empresas para adjudicación de proyecto.

Ya adquirido el contrato y con la configuración de la instalación de los equipos de generación para ser conectados a la línea de aguas frescas se comienza la implementación de la central que tiene que ser ubicada en algún lugar estratégico como se muestra en la figura N° 5.1 para su instalación que conlleve la respuesta rápida para la atención de los equipos.



**Figura N° 5.1: Patio de generación. Lugar (Fotografía) emplazamiento patio de generación.**

En esta ubicación se realizará el montaje de dos equipos de generación más un estanque de 20.000 litros de petróleo y un transformador los cuales se indican en la tabla N° 5.2

**Tabla N° 5.2: Equipos para implementación**

Equipos	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Peso (T)
Estanque	5,50	1,99	2,26	23,86
Transformador	3,52	2,47	2,35	14,00
Contenedor 1	15,00	2,50	3,00	25,00
Contenedor 2	15,00	2,50	3,00	25,00

Densidad del petróleo  $\rho = 1,06 \text{ (t/m}^3\text{)}$

## 5.2 Cálculo de conductores de baja tensión y media tensión

Los conductores en baja tensión utilizados para alimentar al transformador de 4.000 kVA deben asegurar el paso de la corriente nominal de la fuente de generación, sin que esta produzca un envejecimiento prematuro de aislación.

Los conductores en media tensión utilizados para alimentar el portal de media tensión deben asegurar el paso de la corriente nominal de la fuente de generación transformada de baja tensión a media tensión, sin que esta produzca un envejecimiento prematuro de su aislación.

Se deben considerar las condiciones ambientales y la disposición de los conductores, para el cálculo de su capacidad de corriente.

## 5.3 Cálculo de conductores en baja tensión

Los datos preliminares de cada grupo generador de 2000 kVA, para efectuar los cálculos son los siguientes:

- ✚ Potencia Unitaria Prime en kVA = 2000.
- ✚ Factor Potencia Prime a Potencia Base = 0.8.
- ✚ Factor de Potencia kVA a kW = 0.95.

Potencia Base Suministrada en kW= 1520 para una tensión nominal de 380 Volts Para el cálculo de la sección mínima se diseñará según potencia total del equipo.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V_L * \cos \phi} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 5.1})$$

Reemplazando:

$$I = \frac{1520000}{\sqrt{3} * 380 * 0.95} ; \quad I = 2431 \text{ [A]}$$

Luego, aplica el factor de corrección de la capacidad de transporte de corriente por variación de temperatura mostrado en la tabla N° 5.3, (según la norma RIC 04 Art. 5.28.5, tabla N° 4.7).

**Tabla N° 5.3: Factor de Corrección.**

Factor de Corrección [ft]			
Temperatura Ambiente [°C]	Temperatura de Servicio del Conductor. [°C]		
	60	75	90
21 – 25	1,08	1,05	1,04
26 – 30	1,00	1,00	1,00
<b>31 – 35</b>	0,91	0,94	<b>0,96</b>
36 – 40	0,82	0,88	0,91
41 – 45	0,71	0,82	0,87
46 – 50	0,58	0,75	0,82
51 – 55	0,41	0,67	0,76
56 – 60	--	0,68	0,71
61 – 70	--	0,33	0,58
71 – 80	--	--	0,41

Fuente: norma RIC 04 Art. 5.28.5, tabla N° 4.7.

Aplicando factor de corrección por temperatura [31 – 35] °C,  $f_t = 0.96$  y con un factor de seguridad  $f_s$  igual a 1.2, se obtiene un valor de corriente de diseño, a través de la ecuación N° 5.2:

$$I_d = \frac{I_t * f_s}{f_t} \quad (\text{Ec. N° 5.2})$$

Reemplazando:

$$I_d = \frac{2430 \cdot 1.2}{0.96}; \quad I_d = 3038 \text{ [A]}$$

Donde:

- ✚ Id: Corriente de diseño con la que se define la sección del conductor.
- ✚ ft: Factor de corrección por temperatura.
- ✚ It: Corriente total obtenida con los datos característicos.

$$I_d = \frac{3038}{5}; \quad I_d = 608 \text{ [A] por línea} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 5.3})$$

Una vez obtenida la corriente de diseño, se debe seleccionar el tipo de alimentador a utilizar en baja tensión que posea las características de asemejar dicha corriente, para esto se usara como referencia la tabla N° 5.4 de dimensionamiento del alimentador cuyo fabricante es Cocesa.

El tipo de cable a seleccionar es uno denominado superflex, por sus características constructivas, gran facilidad de maniobrar debido a su chaqueta flexible y excelente aislación. Para el nivel de corriente de diseño obtenido corresponde el cable de código (PD) EX19 sección 253 mm<sup>2</sup> y una corriente de servicio de 627 [A].

Datos adicionales del conductor:

- ✚ Tipo de aislación: XLPE.
- ✚ Sección: 253 mm<sup>2</sup>.
- ✚ Grupo: B.
- ✚ Corriente de servicio: 627 [A].
- ✚ Tensión de servicio: 1.000 [V].
- ✚ Temperatura de servicio: 90 [°C] en lugares húmedos y secos.
- ✚ Temperatura de emergencia: 130 [°C].
- ✚ Temperatura de corto circuito: 250 [°C].
- ✚ Diámetro exterior: 30.1 mm.

+ Espesor de la aislación: 1.70 mm.

**Tabla N° 5.4: Cables super flex monoconductor 1000 V.**

Código (PD)	Calibre Sección [mm <sup>2</sup> ]	Configuración Triplexado en [A]
EX01	2.08	30
EX02	3.31	40
EX03	5.26	52
EX04	8.37	70
EX05	13.3	91
EX06	21.2	123
EX07	26.7	145
EX08	33.6	165
EX09	42.4	190
EX10	53.5	218
EX11	67.4	257
EX12	85.0	305
EX13	107	354
EX14	127	396
EX15	152	443
EX16	177	493
EX17	203	540
EX18	228	584
<b>EX19</b>	<b>253</b>	<b>627</b>
EX20	380	792
EX21	507	940

Fuente: tabla catálogo Cocesa.

## 5.4 Cálculo de la caída de tensión en baja tensión

Con los valores obtenidos se calcula la caída de tensión en la ecuación N° 5.4.

$$V_p = \frac{\sqrt{3} * 0.0018 * L * I * F_p}{Sección} \quad (\text{Ec. N}^\circ 5.4)$$

Reemplazando:

$$V_p = \frac{\sqrt{3} * 0.018 * 22 * 3038 * 0.95}{253 * 5}; \quad V_p = 1.56[V]$$

Entonces, la caída tensión, para este nivel de tensión sería de 0.41 %

La Norma RIC 03 Artículo 5.1.3, exige una tensión de pérdida no superior a 11 volts (3 % del valor de tensión nominal), por lo tanto, los valores calculados de las tensiones de pérdida se encuentran en los márgenes aceptables.

## 5.5 Dimensionamiento de conductor media tensión

Los datos preliminares de cada grupo generador de 2000 kVA, para efectuar los cálculos justificativos son los siguientes:

- ✚ Potencia unitaria en kVA = 4000.
- ✚ Potencia transformador kW = 3800.
- ✚ Para una tensión nominal de 23 kV.

Nótese que, a diferencia del cálculo en baja tensión con respecto a las potencias en este caso, se considera, un conductor para la alimentación de ambos generadores.

Para el cálculo de la sección mínima, se diseñará según potencia total de la S/E utilizando la ecuación N° 5.5.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot f_p} \quad (\text{Ec. N}^\circ 5.5)$$

Reemplazando:

$$I = \frac{3800000}{\sqrt{3} \cdot 23000 \cdot 0.95} \quad I = 100.41 \text{ [A]}$$

Según la tabla de la figura N° 5.2, se debería utilizar para una corriente de diseño de 100.41 A, un cable de sección de 42.4 mm<sup>2</sup>, pero como este tipo de cable no existe en las bodegas de la compañía, se utilizará uno de 53.5 mm<sup>2</sup> del cual existe stock en bodega de la compañía.

XAT MONOCONDUCTOR 25 KV 100% DE NIVEL DE AISLACIÓN

Calibre conductor AWG/kcmil	Sección nominal mm <sup>2</sup>	Diámetro del conductor aprox. mm	Espesor aislación nominal mm	Diámetro total aprox. mm	Peso total aprox. kg/km	Resistencia máx. a 20 °C CC Ω/km	Capacidad μF/km	Capacidad de corriente A		
								Ducto enterrado 3 conductores temp. amb. 20 °C	Directamente enterrado 3 conductores temp. amb. 20 °C	Aire libre 3 cond. triplexados a temp. amb. 40 °C
1	42,4	7,7	6,6	29,0	1.168	0,423	0,14	175	240	195
1/0	53,5	8,7	6,6	30,0	1.304	0,335	0,15	200	275	225
2/0	67,4	9,7	6,6	31,1	1.468	0,266	0,16	230	310	260
3/0	85	10,9	6,6	32,5	1.679	0,211	0,17	260	355	300
4/0	107	12,2	6,6	34,3	1.957	0,167	0,18	295	405	345
250	127	13,2	6,6	35,2	2.166	0,141	0,19	325	440	380
350	177	15,5	6,6	37,6	2.703	0,101	0,21	390	535	470
500	253	18,6	6,6	41,1	3.508	0,0708	0,24	465	650	580
750	380	23,0	6,6	47,2	5.019	0,0472	0,29	565	805	730
1000	507	27,0	6,6	51,7	6.373	0,0354	0,32	640	930	850

**Figura N° 5.2: Características constructivas conductor XAT cable Cocesa**

Fuente: catálogo de productos Cocesa (Gobantes.cl).

## 5.6 Dimensionamiento alimentador cable Cocesa

- ✚ Tipo de cable: XAT.
- ✚ Sección para utilizar: 53.5 mm<sup>2</sup>.
- ✚ Clase de grupo: Grupo A.

- ✚ Corriente de servicio: 170 [A].
- ✚ Tensión de servicio: 25 [kV].
- ✚ Temperatura de servicio: 90 [°C] en lugares húmedos y secos.
- ✚ Temperatura de emergencia: 130 [°C].
- ✚ Temperatura de corto circuito: 250 [°C].

Con los datos de dimensionamiento del alimentador, se obtiene las características constructivas del fabricante, dicha tabla es mostrada en la tabla N°5.5.

**Tabla N° 5.5: Características constructivas cables de cobre.**

Sección Nominal [mm <sup>2</sup> ]	Construcción	Espesor		Diámetro Exterior [mm]	Peso [kg/km]
		Aislación [mm]	Cubierta [mm]		
53.5	19 x 1.89	6.6	2.03	30.65	1261
67.4	19 x 2.13	6.6	2.03	31.68	1427
85	19 x 2.39	6.6	2.03	33.45	1660
107	19 x 2.68	6.6	2.03	34.79	1907
127	37 x 2.09	6.6	2.03	35.96	2127
177	37 x 2.47	6.6	2.03	38.83	2697
253	37 x 2.95	6.6	2.03	41.94	3497

Fuente: libro de distribución industrial de la energía eléctrica, autor, Jaime Córdova Pérez.

- ✚ Sección 53.5 mm<sup>2</sup>: 19 hebras.
- ✚ Diámetro de hebras: 1.89 mm.
- ✚ Diámetro exterior: 75.19 mm.
- ✚ Espesor de la aislación: 6.6 mm.
- ✚ Espesor de la cubierta: 2.03 mm.

## 5.7 Resistencia del conductor de media tensión

Para un alimentador en media tensión, la resistencia depende del material con el cual está constituido, vale decir, su sección, el largo del conductor y su frecuencia, la proximidad entre los conductores y la temperatura. Para determinar la resistencia del cable se utiliza la ecuación N° 5.6.

$$R = R1 * R2 * Fp \quad (\text{Ec. N}^\circ 5.6)$$

Donde:

- ✚ R1: Resistencia a la temperatura T1.
- ✚ R2: Resistencia de coeficiente de temperatura ambiente y servicio
- ✚ Fp: Factor Pelicular.

De esta ecuación, se calcula la resistencia R1 y R2, para este caso, el largo del conductor es aproximadamente 22 metros y para el cálculo de la R1 en la ecuación N°5.7, se tiene que:

$$R1 = \frac{(0.018 * \text{Largo Conductor})}{\text{Sección}} \quad (\text{Ec. N}^\circ 5.7)$$

Reemplazando:

$$R1 = \frac{(0.018 * 22)}{53.5\text{mm}} ; R1 = 0.0074 \Omega$$

Luego, se obtiene R2, en la ecuación N°5.8:

$$R2 = \frac{T2+234.5}{T1+234.5} \quad (\text{Ec. N}^\circ 5.8)$$

Donde:

✚ T2: Temperatura ambiente 30 ° C

✚ T1: Temperatura de Servicio 90 ° C

Según, la ecuación N°5.8, el valor para R2 es de 0,82  $\Omega$ .

El factor denominado pelicular (Fp), el cual consiste en un factor de corrección para mejorar el valor del cálculo de la resistencia, se obtiene de la tabla 5.6. Debido a que la frecuencia de la corriente tiende a irse por la superficie de los conductores llevando consigo la variación de la resistencia del conductor.

Para la sección obtenida de acuerdo con la corriente de diseño se busca el coeficiente pelicular, para cables de cobre obtenido del libro de Jaime (Córdova, 1994), en la tabla N° 5.6.

**Tabla N° 5.6: Coeficiente pelicular para cables de cobre.**

Sección [mm <sup>2</sup> ]	Factor Pelicular.	
	Cables instalados al aire o en ducto no metálico.	Cables instalados en canalización metálica.
Hasta 26.7	1,000	1.00
33.6	1,000	1,01
42.4	1,000	1,01
53.5	1,001	1,02
67.4	1,001	1,03
85	1,002	1,04
107	1,004	1,05
127	1,005	1,06
152	1,006	1,07

Fuente: libro de distribución industrial de la energía eléctrica, autor, Jaime Córdova Pérez.

El factor pelicular es de 1,001. Luego, resolviendo la ecuación N° 5.9, se tiene que:

$$R = 0.0074 * 0.82 * 1.001 ; R = 0,0061 \Omega \quad (\text{Ec. 5.9})$$

## 5.8 Reactancia del Conductor

En la ecuación N° 5.10 se muestra el cálculo de la reactancia XL del conductor emplear.

$$XL = 4 * \pi * 10^{-7} * f * \ln \left( \frac{DMG}{GMR} \right) * L_C \quad (\text{Ec. 5.10})$$

Donde:

- ✚ f: Frecuencia de la red.
- ✚ DMG: Distancia media geométrica, valor entregado por el fabricante.
- ✚ GMR: Radio medio geométrico, valor entregado por el fabricante.
- ✚  $L_C$ : Largo del conductor.

Aplicando los valores a la ecuación, se obtiene un valor de reactancia para el cable equivalente a 0,00197  $\Omega$ .

Con estos datos obtenidos de resistencia y reactancia del conductor, finalmente la caída de tensión generada en el conductor en un largo de 22 m. valor calculado en la ecuación N° 5.11.

$$\text{Caída de tensión} = I * (R * \cos\phi + XL \text{ sen}\phi) \quad (\text{Ec. N° 5.11})$$

La caída de tensión es de 0.605 volts, que equivale a un 0.003 % del valor nominal de la tensión de alimentación, estando dentro de los rangos permitidos por la norma.

## 5.9 Control, protección y operación del sistema motor – bomba

La sección mínima del conductor por capacidad térmica se calcula a través de la ecuación N° 5.12:

$$A = \sqrt{\frac{I_f^2}{0.0297 * \text{Log}\left(\frac{T_2+234}{T_1+234}\right)} * tcc} \quad (\text{Ec. N° 5.12})$$

Esto da un valor de 17580.56 expresado en circular mil, para transformar a sección en mm<sup>2</sup>, dividimos el resultado por un valor equivalente de 1973.

Reemplazando:

$$A = \frac{17580.56}{1973} = 8.91 \text{ mm}^2$$

La sección de cortocircuito calculada de 8.91 mm<sup>2</sup>, es inferior a la sección del conductor proyectada, por lo tanto, cumple con la norma de acuerdo con la capacidad térmica.

Como se describe anteriormente este valor es aceptable, y para bajas frecuencias como las usadas en estas instalaciones industriales de 50 Hz no tiene mayor relevancia.

### 5.9.1 Malla de protección

Dentro de toda instalación eléctrica un aspecto importante es la construcción de la malla de puesta a tierra, esta se define como una conexión eléctrica directa de todas las partes metálicas de una instalación, no posee fusibles ni otros sistemas de protección, debe ser de sección adecuada y de uno o varios electrodos enterrados en el suelo con el objetivo de conseguir que, entre la instalación y superficies aledañas a esta no exista diferencia de

potenciales peligrosas y que al mismo tiempo permita el paso de las corrientes de fallas o de descargas atmosféricas.

El diseño tiene que estar hecho para evitar diferencias de potenciales peligrosas para las personas que transitan por el sector, contribuir a establecer valores adecuados y bajos entre las fases vivas y tierra durante una falla residual, proporcionar una vía de baja impedancia para la operación correcta de las protecciones y conducir eficazmente las corrientes producidas por las descargas atmosféricas limitando las diferencias de potencial peligrosas que pudiesen producirse en la instalación.

Una tierra segura contribuye en la reducción de tiempos de fallas innecesarios y riesgos peligrosos de averías en los equipos.

Para poder realizar la instalación de los equipos se comienza a realizar mediciones con resistencia de suelo ya que lo más importante es la resistividad del suelo mismo, por ello es requisito conocerla para calcular y diseñar la puesta a tierra de sistemas y una vez obtenidos los datos se puede realizar la confección de la malla para la instalación.

Los aspectos importantes por considerar para la confección de una puesta a tierra son los siguientes:

- ✚ Identificación y cálculo de los valores de resistividad del terreno.
- ✚ Cálculo la resistividad equivalente y la resistencia de malla.
- ✚ Cálculo de la tensión de contacto y tensión de paso máxima.
- ✚ Cálculo de la corriente irradiada y las tensiones de contacto y paso aportados por la malla de tierra.

#### **a) Identificación y cálculo de los valores de resistividad del terreno**

Para comenzar con mediciones de resistividad en terreno, se realiza una limpieza y nivelación del área en la cual se ubicarán los equipos. Ver la figura N° 5.3.



**Figura N° 5.3: Limpieza de área y nivelación de terreno.**

Fuente: fotografía del emplazamiento de terreno para generadores de respaldo de Minera Candelaria.

Ya realizado el emplazamiento se realizar las mediciones de resistividad de terreno la cual se indican los valores en la tabla N° 5.8, además se da a conocer el equipo con el cual se efectúa la medición en la tabla N° 5.7.

**Tabla N° 5.7: Instrumento de medición**

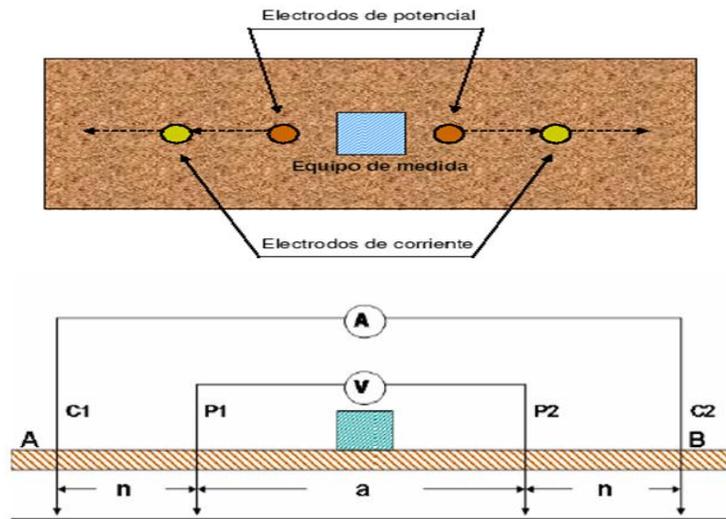
Marca	AEMC
Modelo	4.500
Pantalla de Cristal	3 ½ Dígitos.
Lectura Directa	$\Omega$ o $K\Omega$

Fuente: datos tomados de instrumento medidor digital de tierra ([aemc.com](http://aemc.com))

#### **b) Método de medición empleado, método Schlumberger**

Para efecto de la medición, se emplea el método de cuatro electrodos figura N° 5.4 denominado método Schlumberger y para su aplicación se utilizan los siguientes parámetros.

- a** Distancia entre barras fijas de potencial al centro de la medición.
- n** Distancia entre un electrodo fijo de potencial y un electrodo móvil de corriente.



**Figura N° 5.4: Configuración Schlumberger.**

Fuente: elaboración propia.

La ecuación para determinar las resistividades medidas dentro de los 21 puntos, se expresa en la ecuación N° 5.13.

$$Rho = \pi * n * (n + 1) * a * R \quad (\text{Ec. N° 5.13})$$

Donde:

- ✚ **Rho ( $\rho$ ):** Resistividad del material del que está hecho el conductor ( $\Omega \cdot m$ )
- ✚  **$\pi$ :** Valor numérico.
- ✚ **n:** Distancia entre un electrodo fijo de potencial y un electrodo móvil de corriente, expresado en metros.
- ✚ **a:** Distancia entre barras fijas de potencial al centro de la medición, expresado en metros.
- ✚ **R:** Lectura del equipo, expresada en ohm.

El método de Schlumberger considera valores de campo que son valores de resistividad aparente del terreno en los distintos puntos de medición a través de electrodos.

Para la medición es relevante la cantidad de puntos de medida que se llevan a cabo en la tabla N° 5.9 si los estratos profundos del suelo tienen baja resistividad, la resistencia medida  $R$  disminuye en la medida que se incrementa la distancia respectiva  $AB$ . Es posible que el valor disminuya y quede fuera del rango, en terrenos de elevadas resistividades puede ocurrir algo similar debido a que la resistencia medida puede alcanzar valores elevados. La medición se ve afectada por un pobre contacto de los electrodos con el terreno. (Briseño. J, 2015)

Es común utilizar como electrodos barras verticales que se entierran unos 10 cm dentro del terreno. Para los electrodos de corriente se sugiere una longitud de enterramiento menor a  $1/10$  de la distancia que los separa.

Cuando se tienen terrenos de resistividad elevada, la resistencia a tierra equivalente en el circuito de circulación de la corriente puede ser muy alta, limitando la intensidad de la corriente inyectada al terreno. En estos casos es posible que el aparato no indique valor alguno debido a que la corriente inyectada y por ende la tensión medida estén por debajo del umbral de sensibilidad del aparato. Cuando este sea el caso, se debe mejorar el contacto en los electrodos de corriente agregando agua en las inmediaciones de los electrodos.

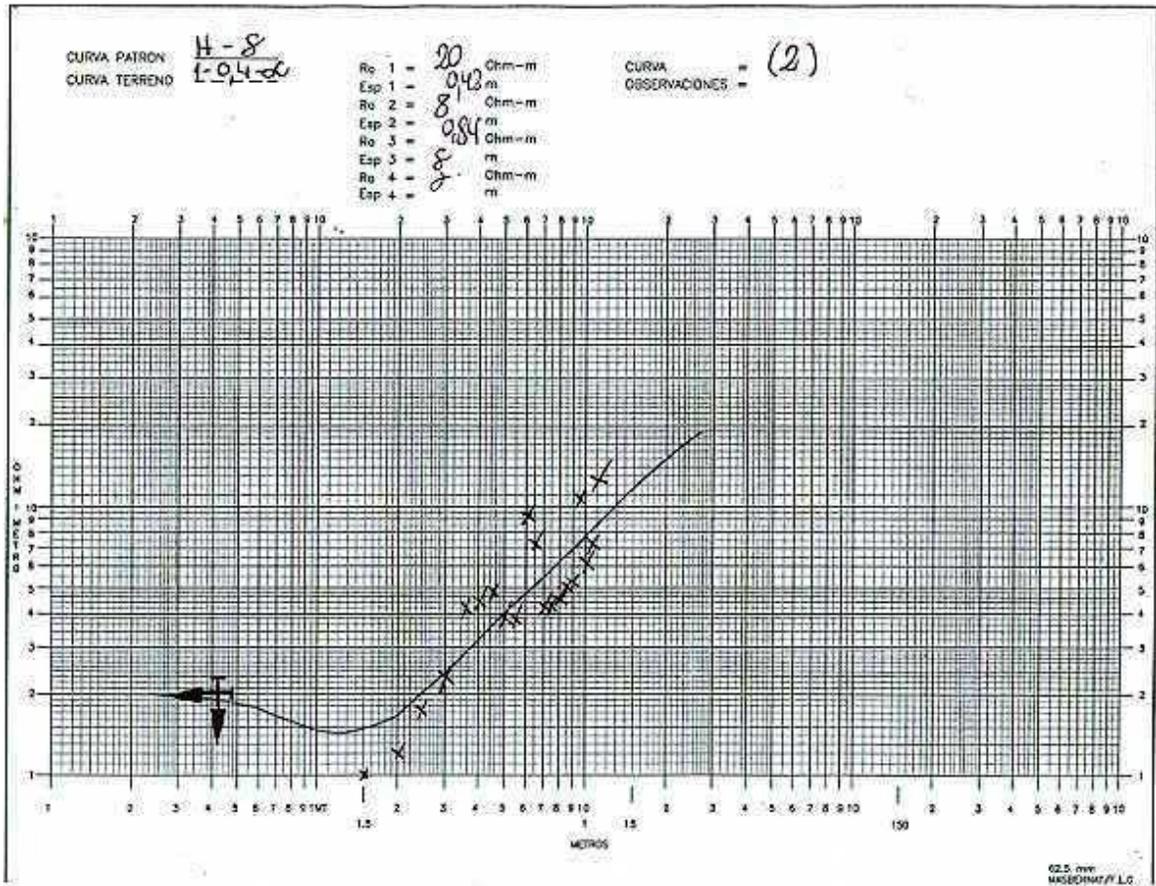
También se debe verificar el punto de contacto de los electrodos de tensión, ya que es posible que se encuentren encima de alguna pequeña piedra lo que anula prácticamente el contacto eléctrico.

**Tabla N° 5.8: Valores de resistividad obtenidos.**

Lect.	— AB	a	n	(n+1)	R (Ω)	$\rho a$ (Ω m)
N°		(m)	(m)		medidas	Rho calculados
1	1	1	0,00	1,00	6,25	0,000
2	2	1	0,50	1,50	3,00	7,069
3	3	1	1,00	2,00	2,01	12,629
4	4	1	1,50	2,50	1,46	17,200
5	5	1	2,00	3,00	1,23	23,185
6	6	1	2,50	3,50	1,55	42,608
7	7	1	3,00	4,00	1,18	44,485
8	8	1	3,50	4,50	1,00	49,480
9	9	1	4,00	5,00	0,62	38,956
10	10	1	4,50	5,50	0,49	38,100
11	11	1	5,00	6,00	0,99	93,305
12	12	1	5,50	6,50	0,65	73,003
13	13	1	6,00	7,00	0,32	42,223
14	14	1	6,50	7,50	0,28	42,883
15	15	1	7,00	8,00	0,26	45,742
16	16	1	7,50	8,50	0,25	50,069
17	17	1	8,00	9,00	0,23	52,025
18	18	1	8,50	9,50	0,42	106,547
19	19	1	9,00	10,00	0,22	62,204
20	20	1	9,50	10,50	0,23	72,076
21	21	1	10,00	11,00	0,36	124,407

Fuente: valores obtenidos para un valor Resistivo cada 0,50 m. Elaboración Propia.

Luego, con los datos obtenidos, mediante el método de Schlumberger, se demuestra la curva resultante en la figura N° 5.5, la que se debe comparar con la curva patrón de (Orellana) Mooney, de las cuales, la que más se asemeja es la curva patrón H - 8.



**Figura N° 5.5: Gráfica de Comparación Entre Curva Patrón y de Terreno**

Fuente: Curva comparada, <https://www.studocu.com/>

De la gráfica resultante, podemos obtener los siguientes datos expresados en la tabla N° 5.9.

**Tabla N° 5.9: Valores obtenidos según capas geo-eléctricas.**

	1° Capa	2° Capa	3° Capa
Rho ( $\Omega - m$ )	20	8	infinito
Profundidad (m)	0.42	0.84	infinito
Curva patrón H – 8; 1 – 0.4 - infinito; (2) Lamina N°4			

Fuente: elaboración propia.

Con respecto al valor de resistividad de la capa 2, se obtiene con la ecuación N° 5.14.

$$\rho_2 = \rho_1 * 0.4 \quad (\text{Ec N° 5.14})$$

Para efectuar el cálculo de los espacios entre capas se utiliza la ecuación N° 5.15.

$$E_2 = E_1 * 2 \quad (\text{Ec N° 5.15})$$

### c) Cálculo de la resistividad equivalente

Para el cálculo de la resistividad equivalente se determinará utilizando el método de Burgsdorf - Yacobs, el cual establece que el valor de la resistividad equivalente de un terreno ( $\rho_e$ ) está dado por la siguiente expresión:

$$\rho_e = \frac{F_n}{\sum_{i=0}^n \frac{1}{\rho_i} [F_{\rho_i} - F_{\rho_{i-1}}]} \quad (\Omega - m) \quad (\text{Ec. N° 5.16})$$

Donde:

Los  $F_i$  son parámetros que dependen de las dimensiones de la malla de puesta a tierra, profundidad de sus elementos y profundidad de los diferentes estratos de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$F_1 = \sqrt{1 - \frac{v^2(1)}{r^2(0)}} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 5.17})$$

$$V_{(1)}^2 = \frac{1}{2} * \left( u_{(1)}^2 - \sqrt{(u_{(1)}^2)^2 - (4 * q_0^2 * r_0^2)} \right) \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 5.18})$$

$$u_{(1)}^2 = (q_{(0)}^2 + r_0^2 + (hn_{(1)})^2) \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 5.19})$$

$$q_0^2 = 2 * r * (r + h) \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 5.20})$$

$$r_0^2 = (r)^2 - (h)^2 \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 5.21})$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 5.22})$$

#### d) Profundidad de los elementos de la malla de puesta a tierra

La profundidad del estrato considerado reemplazando los valores de las resistividades y profundidades de los estratos presentes, obtenidos mediante el estudio geo-eléctrico del suelo, en la ecuación anteriormente descrita se tiene que la configuración geo-eléctrica del terreno es la siguiente:

✚ Profundidad de enterramiento: 0,6 m.

✚ Numero de capas: 3 capas.

✚ Con un Rho equivalente obtenido de las ecuaciones anteriores igual a:

$$Rh_0 \text{ equiv.} = 82,31 (\Omega - m)$$

## 5.9.2 Esquema de la malla

### a) Determinación del sistema propuesto:

- ✚ Tipo de unión = Termofusión.
- ✚ Diámetro del conductor = 0,01168 m.
- ✚ Lado mayor de la malla = 10 m.
- ✚ Lado menor de la malla = 8 m.
- ✚ Largo del conductor empleado = 98 m.
- ✚ Superficie de la malla = 80 m<sup>2</sup>
- ✚ Número de conductores paralelos al lado menor de malla = 5 conductores.
- ✚ Distancia entre conductores paralelos al lado mayor de malla [A] = 2 m.
- ✚ Distancia entre conductores paralelos al lado menor de la malla [B] = 2 m.

Niveles de cortocircuito referenciales.

- ✚  $I_{cc_{1f}} = 3150 \text{ A}$ .
- ✚  $I_{cc_{3f}} = 3820 \text{ A}$ .
- ✚  $T_{op.} = 0,1 \text{ s}$ .
- ✚ **Fusible** = 10 A. (*Curva T*)

Datos de la subestación.

- ✚ **Potencia** = 4000 kVA.
- ✚ **Tensión** = 23 kV.
- ✚ **Impedancia** = 5,75 %.

## b) Cálculo de la resistencia de la malla

Se comparará el cálculo de la resistencia de la malla mediante el método de Schwarz y mediante el método de Laurent y Niemann, para determinar cuál de las dos entregas un valor de resistencia de la malla más bajo.

## c) Cálculo de la resistencia mediante el método de Schwarz

Para realizar el cálculo mediante el método de Schwarz de la resistencia de malla, se utiliza la expresión dada en la ecuación N° 5.23.

$$R_M = \frac{\rho_e}{\pi * L} * \left[ \text{Ln} \left( \frac{2 * L}{\sqrt{h * d}} \right) + \frac{K_1 * L}{\sqrt{S}} - K_2 \right] [\Omega] \quad (\text{Ec N}^\circ 5.23)$$

Donde:

- ✚  $\rho_e$ : Resistividad equivalente del terreno ( $\Omega$  -m).
- ✚ L: Largo del conductor de la malla (m).
- ✚ h: Profundidad de enterramiento de la malla.
- ✚ S: Área total de la malla (m<sup>2</sup>).
- ✚ A: Lado Mayor del Reticulado.
- ✚ B: Lado Menor del Reticulado.

Los coeficientes K1 y K2, llamados también coeficientes de Irregularidad se obtienen a partir de las siguientes Ecuaciones N° 5.24 y 5.25, respectivamente:

$$K_1 = 1.43 - \frac{2.3 * h}{\sqrt{S}} - 0.044 * \left[ \frac{A}{B} \right] \quad (\text{Ec N}^\circ 5.24)$$

$$K_2 = 5.5 - \frac{8 * h}{\sqrt{S}} + 0.15 - \frac{h}{\sqrt{S}} * \left[ \frac{A}{B} \right] \quad (\text{Ec N}^\circ 5.25)$$

Al reemplazar los valores en las ecuaciones se obtiene lo siguiente:

$$K1 = 1,23 \quad K2 = 5,07;$$

Y por consiguiente el resultado de resistencia de la malla es de 4,28  $\Omega$ .

#### **d) Cálculo de la resistencia mediante el método de Laurent y Niemann**

Para realizar el cálculo mediante el método de Laurent y Niemann de la resistencia de malla, se utiliza la expresión dada en la ecuación N° 5.26.

$$R_m = \frac{\rho_e}{4*r} + \frac{\rho_e}{L} [\Omega] \quad (\text{Ec N}^\circ 5.26)$$

Donde:

✚  $\rho_e$ : Resistividad equivalente del terreno ( $\Omega$  -m).

✚ r: Radio en metros del círculo del área equivalente ocupada por la malla.

✚ L: Largo del conductor de la malla (m).

El valor de la Resistencia de Malla con el método de Laurent y Niemann es de 4.92 [ $\Omega$ ]

Al comparar los valores obtenidos mediante ambos métodos, se observa que no dista mucha diferencia en los valores de uno y otro, pero se recomienda trabajar con el resultado menor obtenido.

#### **e) Cálculo de la corriente irradiada**

La Corriente irradiada es la que puede circular a una malla de puesta a tierra en caso de falla, son corrientes que circulan a tierras remotas, dan lugar a diferencias de potenciales y son proporcionales al producto de la corriente por la resistencia de puesta a tierra.

Esta corriente es de suma importancia ya que permite determinar el control de potencial y los gradientes que puedan producirse en la superficie del terreno.

Para realizar el cálculo de la corriente irradiada, se utilizará la ecuación N° 5.27:

$$I_g = D_f * C_p * S_f * I_{cc} \quad (\text{Ec. N}^\circ 5.27)$$

Donde:

- ✚  $I_g$ : Corriente irradiada expresada en Amper.
- ✚  $D_f$ : Factor de decremento obtenido de la tabla N°5.10.
- ✚  $C_p$ : Factor de crecimiento del crecimiento del sistema.
- ✚  $S_f$ : Factor de divisor de corriente, aplicable a los cables de guardia, en este caso de valor igual a 1 ya que la instalación no lleva cable de guardia.
- ✚  $I_{cc}$ : Corriente de cortocircuito.

Los valores para determinar la corriente irradiada son los siguientes:

Determinación de impedancias de secuencia:

- ✚  $x_1 = 1,814 \Omega$ .
- ✚  $x_2 = 1,814 \Omega$ .
- ✚  $x_0 = 2,971 \Omega$ .
- ✚  $I_{cc1f} = 1223,100 \text{ A}$ .
- ✚  $T_{op} = 0,100 \text{ s}$ .
- ✚ Factor de Crecimiento = 1,29.

## f) Asimetría de la corriente de cortocircuito

Esta asimetría inicial se origina en la presencia de reactancias inductivas en el circuito de falla, lo que hace que el circuito se comporte como si existiera una componente de corriente continua en la corriente de falla. Esta componente continua desaparece más o menos rápidamente dependiendo de la relación X/R.

El efecto práctico que esta situación acarrea es que las protecciones deben dimensionarse para corrientes de fallas asimétricas y como los cálculos nos entregan el valor simétrico se han establecido factores de asimetría en función de la relación X/R.

Como es muy difícil establecer la razón exacta X/R, es recomendable emplear factores de asimetría típicos para distintos puntos de un sistema.

En la tabla N° 5.10 se indican valores típicos de decrementos. Para tiempos de fallas intermedios los factores respectivos se pueden obtener por interpolación lineal.

**Tabla N° 5.10: Valores típicos de decremento**

Tiempo de Falla (Segundos)	Factor de Decrementos. (D)
0,01	1,7
0,02	1,62
0,04	1,5
0,08	1,32
0,1	1,25
0,25	1,1
0,5 o más...	1,0

Fuente: datos de tabla tomados <https://repositorio.uta.cl>.

Con los valores ingresados en la ecuación, el valor resultante de la corriente Irradiada es de 1775.024 [A].

### g) Cálculo de la sección mínima del conductor

Según IEEE Guide for Safety in Substation Grounding (1976) norma aceptada por la industria eléctrica, usa la ecuación de Onderdonk como base para seleccionar el mínimo tamaño del conductor que se funda bajo condiciones de falla.

Para conductores de cobre la ecuación es:

$$S_{MIN} = \frac{I_F}{1973 * \sqrt{\frac{\log_{10}\left(\frac{T_m - T_A}{234 + T_A} + 1\right)}{33 * T_{op}}}} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 5.28})$$

Donde:

- ✚  $S_{MIN}$  = Sección del conductor en mm<sup>2</sup>.
- ✚  $I_F$  = Intensidad máxima de cortocircuito que se espera alcance o recorra la toma de tierra.
- ✚  $T_{op}$  = Tiempo en segundos que dura la circulación de la corriente anterior.
- ✚  $T_m$  = Temperatura máxima admisible en el conductor en ° C, se toma 450° C ya que la malla se confeccionará con uniones soldadas.
- ✚  $T_A$  = Temperatura ambiente en ° C.

El valor resultante de la ecuación N° 5.28, para la sección mínima del conductor es de 2.586 mm<sup>2</sup>.

Considerando eventuales problemas de corte accidental por esfuerzo mecánico ante fallas, la sección mínima del conductor que deberá utilizarse en la malla es de 107.2 mm<sup>2</sup>.

## h) Determinación de las tensiones de contacto y de paso máximo

Se definen como la diferencia de potencial máximo que podría experimentar una persona a través de su cuerpo cuando se presenta una corriente de falla en una subestación eléctrica o en un patio de maniobras.

La tensión de contacto máxima se define como la diferencia de potencial de una estructura puesta a tierra y un punto de la superficie del terreno a una distancia horizontal respecto a la estructura igual al alcance de una persona y que se supone igual a 1 metro.

La tensión de paso máxima se define como la diferencia de potencial eléctrica, entre dos puntos a la que quedara sometida una persona al dar un paso mientras se esté inyectando una corriente en el área en que se desplaza dado los gradientes de potencial en la superficie del suelo.

Para determinar los valores de tensión máxima de contacto y de paso, se tomaron las siguientes variables para la capa superficial del terreno:

- Factor de reducción de rho de capa de contacto = 0,53.
- Rho de capa de contacto = 3000  $\Omega$  - m (gravilla 0,15 m.).

Las Ecuaciones para determinar ambas tensiones son las correspondientes a las N° 5.29 y la ecuación N° 5.30, respectivamente:

$$V_{\text{contmax}} = [1000 + (1.5 * C_s * \rho_{\text{superficial}}) * \frac{I_{\text{fibrilacion}}}{\sqrt{t_{\text{op}}}}] \quad (\text{Ec. N}^\circ 5.29)$$

El resultado para la tensión de contacto máximo (Ec) es de 1680.653 V.

$$V_{\text{pasomax}} = [1000 + (6 * C_s * \rho_{\text{superficial}}) * \frac{I_{\text{fibrilacion}}}{\sqrt{t_{\text{op}}}}] \quad (\text{Ec. N}^\circ 5.30)$$

El resultado para la tensión de paso máximo (Ep) es de 5232.874 V

### i) Cálculo de las tensiones de contacto y de paso de la malla

Finalmente, se realiza el cálculo de los valores de las tensiones de contacto y de paso con la malla proyectada, con las siguientes ecuaciones de tensión de contacto (Em) y de paso (Epp), respectivamente:

$$V_{\text{contacto}} = K_m * K_i * \rho_{\text{equi}} * \left(\frac{I_g}{L_c}\right) \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 5.31})$$

Donde:

- ✚ Km: Factor de forma de la malla.
- ✚ Ki: Factor de uniformidad de la malla.
- ✚  $\rho_{\text{equi}}$ : Resistividad de la malla.
- ✚ Ig: Corriente irradiada.
- ✚ Lc: Largo del conductor.

$$V_{\text{paso}} = K_s * K_i * \rho_{\text{equi}} * \left(\frac{I_g}{0.75 * L_c}\right) \quad (\text{Ec. 5.32})$$

Donde:

- ✚ Ks: Factor de superficie de la malla.
- ✚ Ki: Factor de uniformidad de la malla.
- ✚  $\rho_{\text{equi}}$ : Resistividad de la malla.
- ✚ Ig: Corriente irradiada.
- ✚ Lc: Largo del conductor.

$$K_m = 0,377 \quad K_i = 1,520$$

Tensión de malla:

$$E_m = 854,31 \text{ V.}$$

Tensión en la periferia de la malla.

$$K_s = 0,530$$

$$E_{pp} = 1601,36 \text{ V.}$$

### **j) Condiciones de seguridad**

Para que la malla diseñada sea considerada segura debe cumplirse que:

$$E_m \leq E_c \quad \text{y} \quad E_{pp} \leq E_p$$

$$\color{red}{\oplus} E_m = 854.31 \text{ V.}$$

$$\color{red}{\oplus} E_c = 1680.653 \text{ V.}$$

$$\color{red}{\oplus} E_{pp} = 1601.36 \text{ V.}$$

$$\color{red}{\oplus} E_p = 5232.874 \text{ V.}$$

En definitiva, la malla indicada cumple que es inferior a  $20 \Omega$ , según pliego técnico (“RIC 05, medidas de protección”, artículo 8.7.6.8”). Además, cumple con las condiciones fijadas de tiempo de operación de protecciones y de gradientes permisibles. Esta malla debe ubicarse bajo el transformador, con una capa de 0,15 m de espesor de hormigón, sobresaliendo como mínimo 1 m por lado a fin de delimitar las gradientes superficiales.

Durante la construcción de la puesta a tierra, deberán adoptarse las disposiciones necesarias como para que su resistencia pueda medirse sin dificultades, según el pliego técnico (“RIC N°06, puestas a tierra”).



El requerimiento de fundaciones corresponde a dos contenedores de equipos eléctricos que se muestran en figura N° 5.8, más un estanque figura N° 5.9, dos portales, uno para un desconectador de cuchillos, otro para un reconectador automático y un transformador de 0,4 kV a 23, ver Figura N° 5.10.



**Figura N° 5.7: Emplazamiento destinado para el patio de generación eléctrica Minera Candelaria.**

Fuente: fotografía tomada en Minera Candelaria.

#### **5.9.4 Descripción de las estructuras**

El requerimiento de fundaciones corresponde a dos contenedores de equipos eléctricos, un estanque y un transformador.

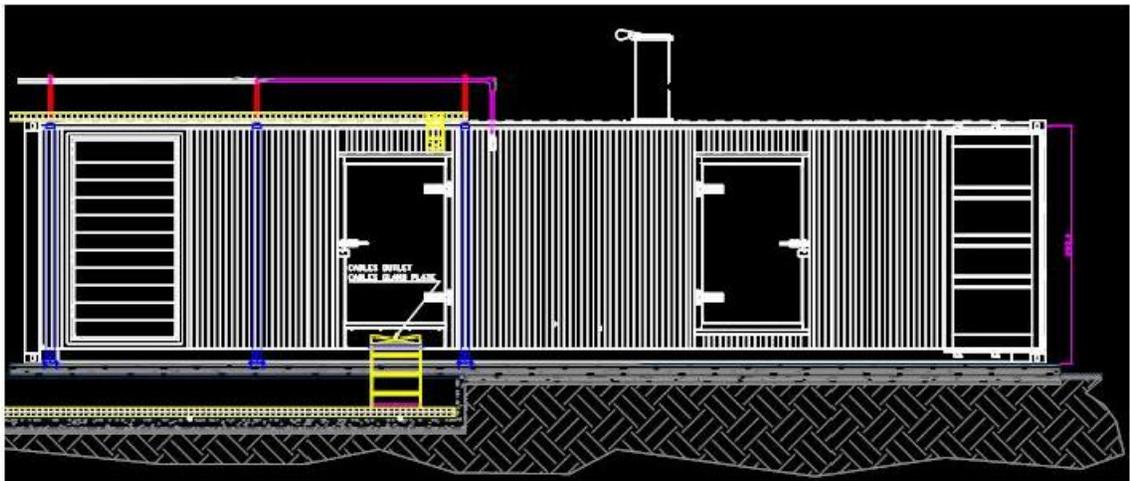
Las estructuras para las cuales se necesitan las fundaciones son descritas en la tabla N° 5.11.

**Tabla N° 5.11: Estructuras para las fundaciones requeridas.**

Tipo de Estructura	Ubicación	Largo (m)	Ancho (m)	Alto o Diámetro (m)	Peso (Ton)
Estanque	Sobre pedestal	5,50	1,99	2,26	23,86 <sup>(1)</sup>
Transformador	Sobre Losa	3,52	2,47	2,35	14,00
Contenedor 1	Sobre pedestal	15,00	2,50	3,00	25,00
Contenedor 2	Sobre pedestal	15,00	2,50	3,00	25,00

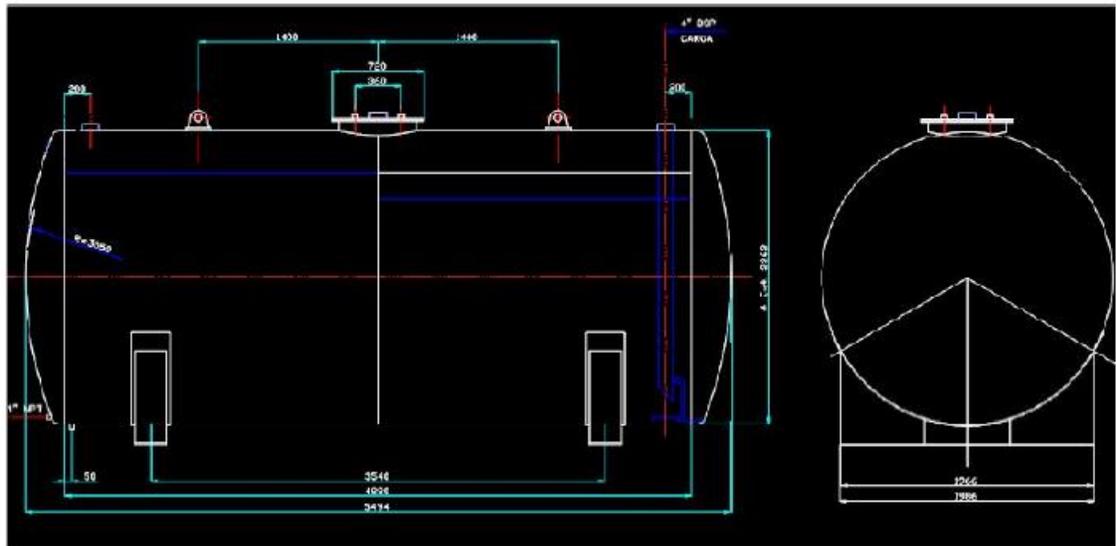
Densidad del petróleo  $p = 1,06 \text{ (t/m}^3\text{)}^{(1)}$

Fuente: datos proporcionados por departamento de obras civiles de Minera Candelaria.



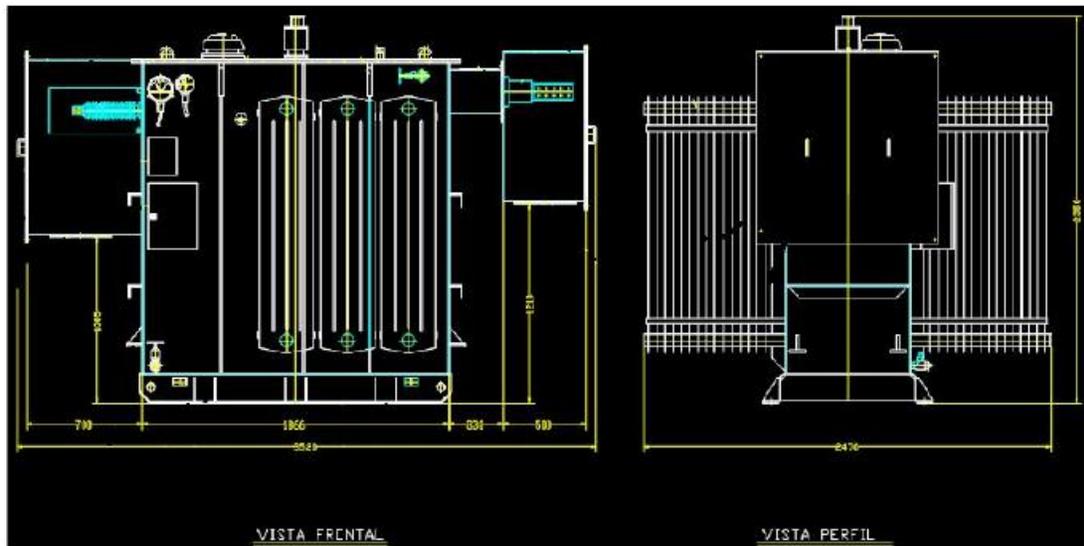
**Figura N° 5.8: Diagrama Generador.**

Fuente: informe proporcionado por Lureye.



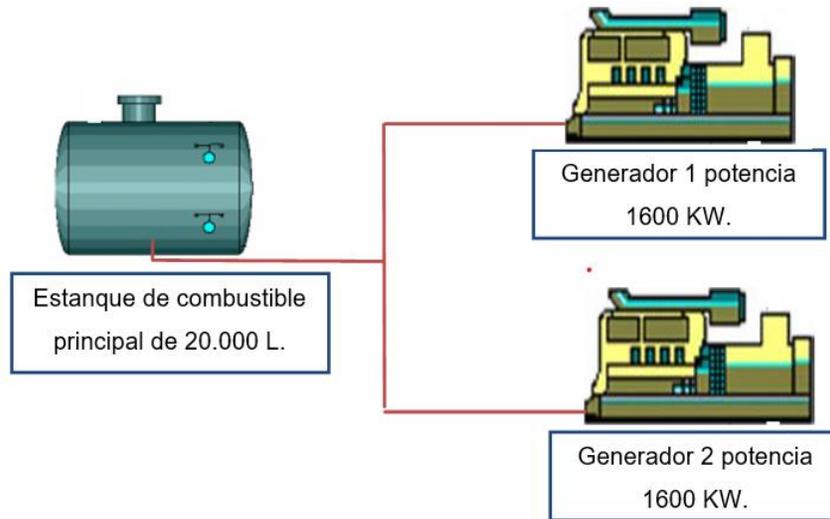
**Figura N° 5.9: Diagrama Estanque 20.000 Litros con medidas.**

Fuente: informe proporcionado por Lureye.



**Figura N° 5.10: Diagrama Transformador.**

Fuente: informe proporcionado por Lureye.



**Figura N° 5.11: Configuración de la línea de combustible.**

Fuente: elaboración propia.

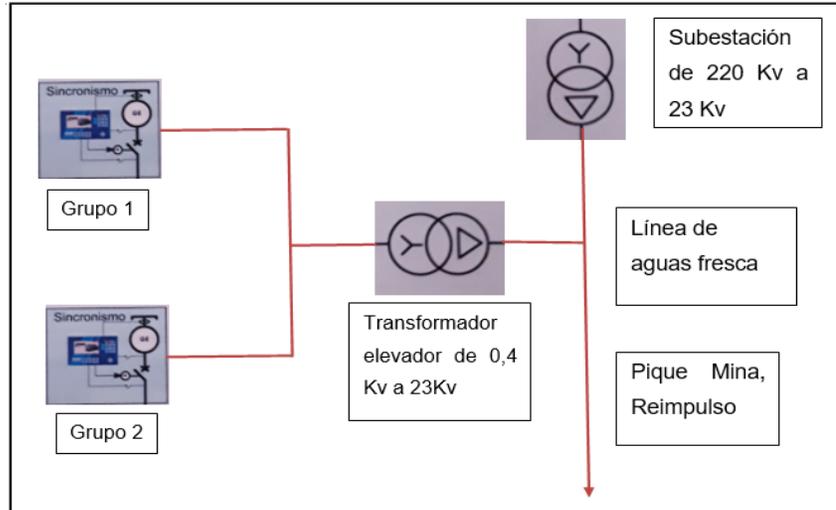
La instalación de este estanco de 20.000 litros se realizará en superficie, ya que con la gravedad y presión que se genere de acuerdo con su nivel de llenado se abastecerán los grupos generadores como se muestra en figura N° 5.11,

Para la instalación de este estanco se solicita la certificación SEC correspondiente a instalación de combustibles líquidos decreto 160 (Reglamento de seguridad para las instalaciones y operaciones de producción y refinación, transporte, almacenamiento, distribución y abastecimiento de combustibles líquidos).

La Instalación del estanco de combustible de 20.000 lts permitirá abastecer los grupos electrógenos de respaldo durante el periodo que dure el corte de energía o blackout.

### **5.9.5 Conexión de equipos en línea de Aguas Frescas**

A continuación, se dará a conocer la instalación de los equipos y su configuración de acuerdo con figura N° 5.12 para su operación ante una falla de acuerdo con lo entregado por la empresa a la cual se adjudicó el contrato. Estos equipos serán conectados a la línea de aguas frescas, la cual abastece con energía las áreas ya descritas en la mina.



**Figura N° 5.12: Diagrama unilineal de Conexión.**

Fuente: elaboración propia.

### 5.9.6 Modo de operación

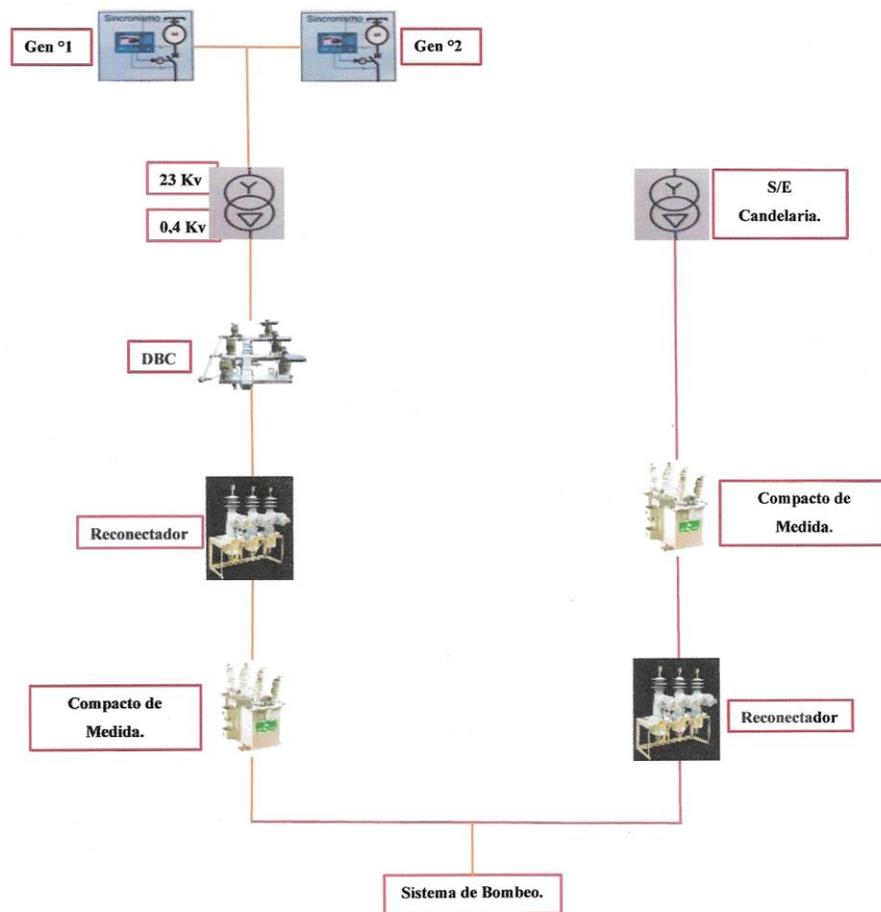
Ante una falla en la línea de aguas fresca los equipos de generación están programado dentro de su configuración ante una pérdida de energía en la red respaldar las cargas que están asociada al proceso de extracción de agua, con esta potencia nos permite mantener los equipos en funcionamiento sin interrupción del sistema.

Para efectos de seguridad y no generar retorno en el sistema protegiendo los equipos y las instalaciones en la línea de aguas frescas y también así en la línea de generación, se instala un reconectador en la línea de 23 kV el cual se aprecia en la figura N° 5.13 y se configura como interruptor más un compacto de medida, de igual manera se efectuará el trabajo en la línea de aguas fresca antes del nodo de conexión con la central de generación.

Al efectuar la instalación de los reconectores, permite generar un interlock eléctrico entre la línea de aguas frescas y generación en 23 kV.

Además, los compactos de medida permiten tomar una muestra de tensión y corriente en 0,4 kV, para determinar si existe una falta de tensión, estos valores son muestras reales entre los puntos tanto, de la generación como de la red, y que están de acuerdo con el diagrama de control en la central de generación.

Por lo demás para efectos de mantenimiento en la central de generación, se instala un DBC (Desconectador bajo carga), para aislar la central mientras dura su mantenimiento el cual más adelante se pasará a nombrar.



**Figura N° 5.13: Diagrama unilineal con componentes instalados en terreno.**

Fuente: elaboración Propia.



Ya conectados los equipos y realizado los protocolos de prueba se comienza la evaluación acerca de su funcionamiento, comprobando los beneficios de su implementación.

### 5.9.7 Costos de implementación

Según lo revisado, estos son los costos asociados para la implementación del sistema de respaldo en línea de aguas frescas.

#### a) Costos de implementación de equipos de generación

- ✚ 02 generador Lureye de 1600 kWt 2 MVA en 400 Volts más transformador de 4 MVA. **Costo: USD \$ 970.000.**
- ✚ 01 estanque de combustible de 20.000 L. **Costo: USD \$ 22.658.**

#### b) Valor implementación personal de Lureye

- ✚ 02 especialistas de Lureye HH por especialista. **Costo:** 1,5 UF = \$ 39.520 (USD \$ 54).
- ✚ 30 días de implementación central 8 HH x 2 Especialistas. **Costo:** 8 HH x 1,5 UF = 12 UF = \$ 316.164 (USD \$ 863).
- ✚ 30 días x \$ 316.164 = \$ 9.484.920 por cada especialista. **Costo total: USD \$ 25.860.**

#### c) Valor implementación por personal de la Compañía

- ✚ 2 especialistas Candelaria HH por especialista. **Costo:** \$ 9.850 = (USD \$ 14).
- ✚ 25 días de implementación central 8 HH x 2 Especialistas. **Costo:** 8 HH x \$ 9.850 = \$ 78.800 = (USD \$ 108).
- ✚ 30 días x \$ 78.800 = \$ 2.364.000 por cada especialista. **Costo total: USD \$ 6.447.**

Cuadro comparativo con costos asociados a implementación con adquisición de equipos a empresa Lureye, tabla N° 5.12 y con personal de CCMC, tabla N° 5.13.

**Tabla N° 5.12: Costos implementación Lureye**

Costos Generadores	USD\$ 992.658
Costo Lureye	USD\$ 25.860
Total	USD\$ 1.018.518

Fuente: elaboración propia.

**Tabla N° 5.13: Costos implementación CCMC.**

Costos Generadores	USD\$ 992.658
Costo CCMC	USD\$ 6.447
Total	USD\$ 999.105

Fuente: elaboración propia.

Con la implementación de la central de generación y la gran inversión que se realiza para este proyecto, se da a conocer los beneficios en costos para la producción.

✚ **Producción:** USD \$ 62.000 la hora, al tener una línea de producción detenida.

✚ **Mina:** USD \$ 180.792 al tener detenida los equipos durante una hora.

Como se da a conocer con los datos anteriores, las perdidas en el área de producción y la mina serán minimizadas por causas de detenciones y recursos de las áreas.

### 5.9.8 Aportes en seguridad y continuidad operacional

Los aportes de seguridad que se logran con la mejora implementada se presentan a continuación y son de suma importancia para el desarrollo continuo de las personas y el proceso.

- ✚ Mantener equipos en funcionamiento.
- ✚ Exposición de personal eléctrico ante falla.
- ✚ Recursos de personal eléctrico y servicio mina.
- ✚ Pérdida de detenciones bruscas en equipos.
- ✚ Movimiento de equipos ante falla.

La implementación desarrollada, permite mantener una eficiencia en el funcionamiento del pique mina y reimpulso exitosamente, del punto de vista de seguridad, se reduce la exposición a la línea de fuego por parte del personal electricista que realiza las maniobras de conexión y desconexión de los equipos.

En cuanto a daños materiales y cuidado de equipos, permite controlar el rendimiento de impulsión (mejorando su eficiencia por daños ante cortes de energía en media tensión) y, por último, al producirse una falla en la línea de aguas frescas, permite solventar la totalidad de los equipos instalados en el área mina.

## **CAPITULO VI**

### **PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE UNIDADES GENERADORAS**

Al crear un plan de mantenimiento se deben escoger las tareas que se necesitan ejecutar para compensar o evitar desastres en los equipos. Tres formas en las que se pueden llevar a cabo estas tareas:

- ✚ Basarse en las instrucciones del fabricante.
- ✚ Basarse en protocolos genéricos de mantenimiento previamente elaborados.
- ✚ Basarse en análisis previos de fallos.

Cómo se trata de un equipo de respaldo que solo se requiere en caso de emergencia o ante un evento puntual, por ejemplo, una parada anual de planta, su disponibilidad idealmente debe ser de un 100% o al menos sobre el 90%, esto da tiempo para la programación de actividades, la planificación en la compra de repuestos y mejor distribución de las horas hombre para poder realizar el mantenimiento. Ante este objetivo, el tipo de mantenimiento a programar es del tipo preventivo.

En el programa de mantenimiento preventivo, se deberán tener en cuenta, no sólo los aspectos técnicos, sino también los relacionados a la gestión y organización, considerando factores de seguridad y medio ambiente. El mantenimiento preventivo radica en prevenir las incidencias antes de que estas ocurran, ya que se basa en un tiempo de actuación establecido, mientras que el mantenimiento correctivo trata de reparar los errores o daños que ya han aparecido.

Para poder llegar a una alta eficiencia de la línea de aguas frescas, se debe tomar en cuenta la detención o falla del equipo en muchas veces detenciones inesperadas que resultan ser el tope en la mejora para dar confiabilidad del sistema.

Por otro lado, desde un punto de vista de la mantenibilidad, es un hecho que una correcta definición de las actividades de mantenimiento, herramientas, insumos y repuestos aseguran un tiempo de ejecución acotado; sin mencionar lo vital que son los aspectos técnicos y de seguridad para el personal. (Shen, 2016).

A partir de los registros operacionales y de mantenciones de equipos, se busca determinar las condiciones que favorecen la ocurrencia de fallas, como también obtener períodos de trabajo entre mantenciones preventivas y correctivas que permitan maximizar el beneficio o disponibilidad esperada.

El trabajo se realiza en tres etapas: Recopilar datos de registros operacionales y mantención, estimación de la probabilidad de falla de equipos a partir del ajuste de distribuciones de probabilidad, determinar una pauta de mantenimiento para el equipo.

De acuerdo con los modelos predictivos, la variable principal corresponde a las horas de mantenimiento correctivo recibido, aumentando la probabilidad de falla en la medida que el equipo recibe mayores horas de trabajo.

## **6.1 Tipos de pauta de mantenimiento**

Para definir las pautas de mantenimiento se han utilizado las especificaciones del fabricante del grupo electrógeno. Como se trata de un sistema de generación de respaldo de emergencia, su uso no presenta una continuidad operacional los 365 días del año, pero, su operatividad debe ser al 100 % cuando sea requerido. Las pautas de mantenimiento serán en base a las indicaciones del fabricante y que por lo demás, al menos una vez al año, es importante cambiar los siguientes componentes:

- ✚ Aceite
- ✚ Filtro de Aceite
- ✚ Filtro de combustible
- ✚ Filtro de aire

Las pautas de mantenimiento preventivo serán aplicadas según como se muestra en la tabla N° 6.1.

**Tabla N° 6.1: Distribución de las pautas de mantenimiento.**

MES		4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64
GEN	TIPO	PPM1	PPM2	PPM1	PPM2												
	HORAS	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500	3750	4000

Fuente: elaboración propia.

Siempre es bueno contar con pautas que sean muy detalladas, y que abarquen una enorme cantidad de información. Sin embargo, se torna difícil, en las típicas circunstancias de trabajo, donde el tiempo apremia para poder leer todo el documento. (Shen, 2016).

Para un fácil entendimiento de la tarea a realizar, se debe contar con una pauta que incluya resúmenes de aspectos como: codificación, seguridad, procedimientos, ajustes, herramientas, repuestos, la idea es que sea breve y no sobrepase la extensión de dos hojas para que sea una guía legible y de rápido acceso a la información relevante.

De lo anterior, se ha definido que para este tipo de equipos se hace necesario determinar las pautas de mantenimiento preventivo (PPM).

- ✚ PPM 0: Pautas de inspecciones periódicas.
- ✚ PPM 1: Pauta de mantenimiento preventivo 1.
- ✚ PPM 2: Pauta de mantenimiento preventivo 2.
- ✚ PPM 3: Pauta de mantenimiento preventivo 3.

### **6.1.1 Pauta inspecciones periódicas (PPM0)**

Para esta revisión es necesario efectuar lo siguiente:

- ✚ Chequeo estado funcionamiento motor en vacío.
- ✚ Revisión elemento filtro de aire.
- ✚ Revisión estado indicador restricción / saturación filtro de aire.
- ✚ Revisión de mangueras combustible.
- ✚ Revisión estado abrazaderas.
- ✚ Revisión nivel combustible.
- ✚ Revisión nivel refrigerante.
- ✚ Revisión nivel aceite motor.
- ✚ Revisión tablero de transferencia.

### **6.1.2 Pauta de mantenimiento preventivo PPM1**

- ✚ Chequeo estado funcionamiento motor en vacío.
- ✚ Cambio filtro de aire.
- ✚ Cambio filtro de aceite.
- ✚ Cambio aceite motor.
- ✚ Cambio filtros de combustible.
- ✚ Cambio filtro refrigerante.
- ✚ Revisión estado aspas ventilador.
- ✚ Revisión estado manguera respiradero.
- ✚ Revisión estado cableado motor.
- ✚ Revisión tensión correa accesorios.
- ✚ Revisión carga de baterías.
- ✚ Revisión estado panel de control.
- ✚ Revisión estado calefactor.
- ✚ Revisión bomba reloj (Trasvasije).
- ✚ Revisión estado mantenedor baterías.

### **6.1.3 Pauta de mantenimiento preventivo PPM2**

- ✚ Chequeo estado funcionamiento motor en vacío.
- ✚ Mantenión desconectador bajo carga DBC.
- ✚ Realizar PPM1.
- ✚ Chequeo estado sistema de control.
- ✚ Limpieza motor.
- ✚ Revisión sistema parada emergencia.
- ✚ Revisión circuito carga breaker.
- ✚ Revisión conexión de reconectores, pruebas de cierre y de apertura.

### **6.1.4 Pauta de mantenimiento preventivo PPM3**

- ✚ Chequeo estado funcionamiento motor en vacío.
- ✚ Realizar PPM2.
- ✚ Cambio de baterías motor.
- ✚ Revisión tolerancia axial eje cigüeñal.
- ✚ Lubricación cubo ventilador (FAN).
- ✚ Cambio mangueras dañadas.
- ✚ Limpieza de escape de motor.
- ✚ Chequear regulación válvulas.
- ✚ Chequear regulación altura inyectores.
- ✚ Ejecutar pruebas de carga al 25 % (con banco de carga).
- ✚ Ejecutar pruebas de carga al 50 % (con banco de carga).
- ✚ Ejecutar pruebas de carga al 75% (con banco de carga).
- ✚ Ejecutar pruebas de carga al 100% (con banco de carga).

En alguna ocasión en el mantenimiento es necesario efectuar el desmontaje parcial o completo del algún componente, previa inspección para detectar las fallas con partes dañadas, defectuosas o desgastadas.

Cada componente debe ser inspeccionado regularmente en búsqueda de señales de desgaste o avería. Aunque un defecto no sea peligroso, puede reducir la eficacia de los equipos y su reparación puede ser bastante cara.

El mantenimiento es una compleja tarea que abarca el trabajo en las estructuras, interiores, sistemas y componentes. Los elementos que componen el generador se montan y se desmontan, ateniéndose a un procedimiento de revisiones que siguen normativas y tomando como variable fundamental la cantidad de horas de operación del equipo.

Dentro de los programas de mantención, se muestra lo que corresponde a un mantenimiento preventivo por sobre lo correctivo, entendiendo que el negocio de mantención es mantener los equipos en óptimas condiciones, en el uso requerido de estos y reducir los tiempos por imprevistos. Estos equipos de respaldo tienen que responder en caso de emergencias o solo cuando sea necesario, como, por ejemplo, en cortes de energía programados.

El programa debe contener los siguientes aspectos para que sea desarrollado de manera efectiva:

- ✚ Plan matriz de inspecciones, su confección debe ser de acuerdo con el equipo en cuestión.
- ✚ Programa de trabajo, hecho de forma específica al equipo.

El registro de actividades como la información y el respaldo del historial de intervenciones, tanto predictiva como correctiva debe quedar anotado en un libro o también llamado “bitácora”. De igual forma, se confeccionan cartillas de inspección, que puede entregar la información resumen de la intervención, en esta cartilla puede ir el nombre del ejecutor, especialidad, fecha de la intervención y tipo de mantenimiento (correctivo o preventivo) entendiendo que el mantenimiento correctivo es por fallos y el preventivo por mantenimiento programado. Estas cartillas deben estar instaladas en el equipo en una parte visible. (Anexo A.6).

En el programa de trabajo se deben considerar las siguientes tareas para que las actividades de mantenimiento resulten con la eficiencia deseada:

- ✚ Definir el trabajo a realizar según las necesidades del equipo de generación.
- ✚ Estimar los recursos y materiales necesarios (Mano de obra y componentes).
- ✚ Definir los protocolos de seguridad y los procedimientos aplicables a la actividad.
- ✚ Obtener el permiso de trabajo correspondiente (Análisis de riesgo operacional).
- ✚ Las operaciones necesarias y su orden de ejecución (Trabajos mecánicos, eléctricos, de ízaje, etc.)

## 6.2 Orden de trabajo (OT)

Una orden de trabajo es un documento en donde se explican los pasos a seguir para el desarrollo de la actividad. En este documento queda registrado lo realizado en el equipo, los eventos encontrados y lo que no se realiza por cualquier imprevisto, dentro de esta ordenes existen operaciones que pueden ser para las distintas especialidades. Una orden de trabajo consta de los siguientes pasos:

- ✚ Identificación de la actividad.
- ✚ Planificación y tipo de PM.
- ✚ Programa detallado o desarrollo de la actividad.
- ✚ Asignación o Ejecutor (es)
- ✚ Retroalimentación.

### 6.2.1 Asignación de prioridades en el desarrollo de los trabajos en una orden

Los niveles de prioridad son importantes para una adecuada programación, estos niveles se clasifican en tres:

- ✚ **Alto:** Trabajos de urgencia, emergentes, existe el riesgo que ocurran daños a la propiedad o las personas, la intervención debiera ser inmediata. No programados.

- ✚ **Medio:** Trabajos normales, para asegurar la disponibilidad del equipo.
- ✚ **Bajo:** Trabajos que se pueden realizar en una detención de planta y dentro de un tiempo razonable (semanas y/o meses).

### **6.3 Formatos**

Es importante tener en cuenta los tipos de documentos que se deben llenar al momento de realizar el mantenimiento del equipo, es de responsabilidad de los trabajadores y supervisores completar como es debido las pautas necesarias para el correcto registro e historización de los datos del equipo, a fin de recurrir a ellos ante alguna falla o información que pudiese servir de ayuda en una futura mantención.

A continuación, se indican las pautas utilizadas en este caso para la mantención de los equipos de respaldo.

#### **6.3.1 Formato Pauta de inspección visual (semanal)**

El resultado del funcionamiento del equipo o las condiciones climáticas y tomando en cuenta que el equipo solo es requerido en condiciones especiales, se realizan inspecciones visuales semanales, con esta información se pueden crear los planes y requerimientos especiales acorde a lo que se necesita para las futuras mantenciones, también ayuda a definir las prioridades de las actividades. (Ver anexo A.7).

#### **6.3.2 Formato pauta de mantenimiento (mensual, trimestral, semestral, anual)**

Es importante contar con pautas que sean detalladas, que contengan una gran cantidad de información y que sea una guía legible de rápido acceso a la información importante. (Ver anexo A.9).

### 6.3.3 Formato pauta protocolos de prueba (después de cada mantenimiento)

Los equipos de generación eléctrica deben ser sometidos a diferentes pruebas de calidad, más en este caso, ya que se trata de equipos denominados como de emergencia. Es importante que después de cada mantenimiento ya sea preventivo como correctivo se le realicen pruebas de funcionamiento para asegurar que el equipo quede en condiciones para poder ser utilizado ante una contingencia. (Ver anexo A.12).

### 6.4 Programa anual de actividades a realizar en el mantenimiento preventivo

En la figura N° 6.1 se presenta la propuesta de las actividades de un mantenimiento en el periodo de un año para los equipos de generación, tomando en cuenta la frecuencia de las actividades a realizar.

PLAN ANUAL DE MANTENIMIENTO						
COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA CANDELARIA			GERENCIA DE MANTENCIÓN			
SISTEMA DE GESTIÓN GENERADORES DE RESPALDO			TALLER DE SUBESTACIONES Y SERVICIOS ELÉCTRICOS			
OPERACIÓN	ACTIVIDAD O FRECUENCIA	CADA VEZ QUE USE	MESESUAL O CADA 20 HRS	TRIMESTRAL O CADA 60 HRS	SEMESTRAL O CADA 100 HRS	ANUAL O CADA 200 HRS
LIMPIEZA EXTERNA DEL EQUIPO	LIMPIAR	☼☼				
COMPROBAR EL NIVEL DEL LIQUIDO DEL ENFRIADOR (SI APLICA) REVISAR EL ACBITE Y SU NIVEL EN EL TANQUE	DIARIA	☼☼				
COMPROBAR VENTILACIÓN Y CALENTAMIENTO	DIARIA	☼☼				
OBSERVAR RUIDOS ANORMALES, VIBRACIONES, ROCES, ETC.	DIARIA	☼☼				
VERIFICAR LA CONCENTRACION DEL ENFRIADOR Y REVISAR LA TRAMPA DE AGUA DE LA SALIDA	MENSUAL		☼☼			
COMPROBAR CARGA CON LOS APARATOS DE MEDIDA	MENSUAL		☼☼			
COMPROBAR ESTADO GENERAL DE LA MAQUINA	TRIMESTRAL			☼☼		
OBSERVAR ASPECTOS DE COLECTOR ASI COMO ESCOBILLAS	MENSUAL		☼☼			
LIMPIEZA INTERIOR	ANUAL					☼☼
OBSERVAR DETALLADAMENTE LAS ESCOBILLAS (REPLAZAR SI ES NECESARIO)	ANUAL					☼☼
COMPROBAR SUPERFICIE DEL COLECTOR Y SUS CONECCIONES	ANUAL					☼☼
COMPROBAR ENTRE-HIERROS Y DEVANADOS	ANUAL					☼☼
PROBAR RESISTENCIA DE AISLAMIENTO Y PUESTA A TIERRA	ANUAL					☼☼
COMPROBAR MANIOBRA CORRECTA DE ARRANQUE (MOTOR DE COMBUSTION PRIMARIA)	SEMESTRAL				☼☼	
COMPROBAR LUBRICACION, CAMBIAR Y LIMPIAR CONDUCTOS DE VENTILACION	SEMESTRAL				☼☼	
COMPROBAR EQUILIBRIO DEL ROTOR	ANUAL					☼☼
DEPURAR EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	SEMESTRAL				☼☼	
LIMPIAR EL DUCTO DEL AIRE DEL RESPIRADOR	SEMESTRAL				☼☼	

Figura N° 6.1: Programa anual de mantenimiento.

Fuente: elaboración propia.

## 6.5 Análisis de falla antes y después de la instalación de los equipos.

Antes de la implementación de los equipos de respaldo, se determinan las causas más frecuentes de fallas expresadas en porcentajes, siendo la más recurrente la causa de detenciones por la disponibilidad de la línea de aguas frescas, en comparación con otras fallas, esta ocupa un 24 % del total de detenciones acumuladas en el periodo de un año, considerando que este tipo de falla es debido a la envergadura de las maniobras que se realizan desde que se produce el blackout hasta la conexión del motivator como sistema de respaldo como se menciona en los capítulos 3 y 4.

A continuación, en la tabla N° 6.2, se realiza un análisis de Pareto con las fallas más recurrentes en el área de pique mina.

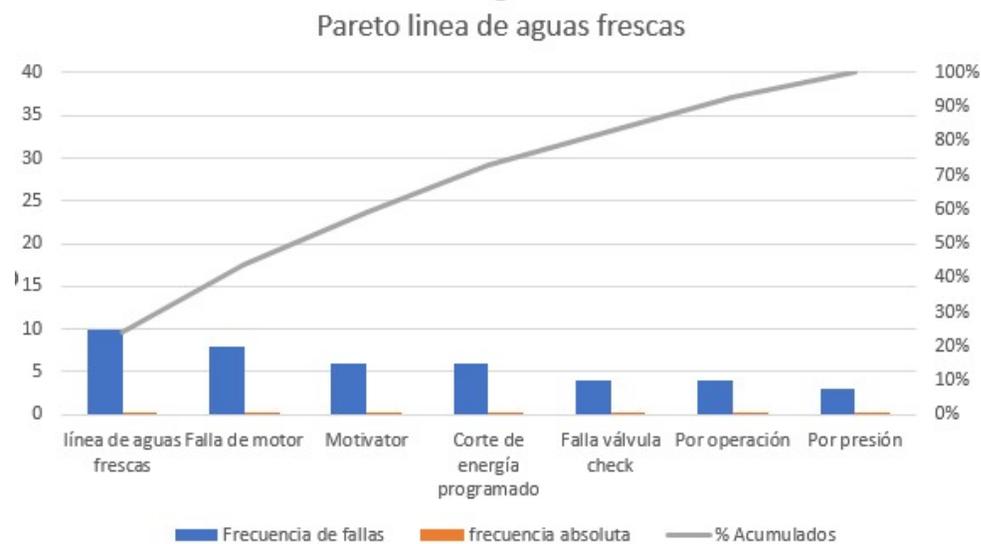
**Tabla N° 6.1: Pareto análisis de falla sin generadores.**

ANALISIS DE FALLA PROMEDIO			
Causas	Frecuencia de fallas	Frecuencia absoluta	% Acumulados
línea de aguas frescas	10	24 %	24 %
Falla de motor	8	20 %	44 %
Motivator	6	15 %	59 %
Corte de energía programado	6	15 %	73 %
Falla válvula check	4	10 %	83 %
Por operación	4	10 %	93 %
Por presión	3	7 %	100 %
Total	41	100 %	

Fuente: elaboración propia

La mayor cantidad de fallas de acuerdo con la trazabilidad de la figura anterior demuestra que para tener mejor respuesta ante detenciones en la línea de aguas frescas y no generar daños en los equipos producto de las detenciones además de maniobras que se realizan, mostrado en el Capítulo IV, es necesario contar con un mejor sistema de respaldo estable y conectado a la red, para así minimizar detenciones y contar con todos los equipos conectados Tabla N° 6.3.

En la figura N° 6.2, se visualiza que un 20 % está concentrado en las 3 primeras causas. Esta distribución es suficiente para dirigir los esfuerzos en dar solución a estos inconvenientes y concentrarse en mejorar la capacidad de respuesta ante un corte de energía., Posteriormente, si se desea, se podrá realizar un nuevo análisis de Pareto con las causas restantes, donde el 80 % estará representado en otras causas las cuales podrán ser representadas o disminuidas cuando se instalen un nuevo sistema.



**Figura N° 6.2: Grafica de Pareto análisis de falla antes de instalar los generadores.**

Fuente: Elaboración propia

Una vez instalados los sistemas de respaldo y realizado un nuevo análisis de fallas en la línea de aguas frescas de minera Candelaria las fallas más frecuentes han cambiado y el interés de mejorar se alojan en otras fallas más recurrentes como lo indica en la Tabla N° 6.3, la cual demuestra que su instalación es algo certero para mejorar esta condición vulnerable en el área de pique mina.

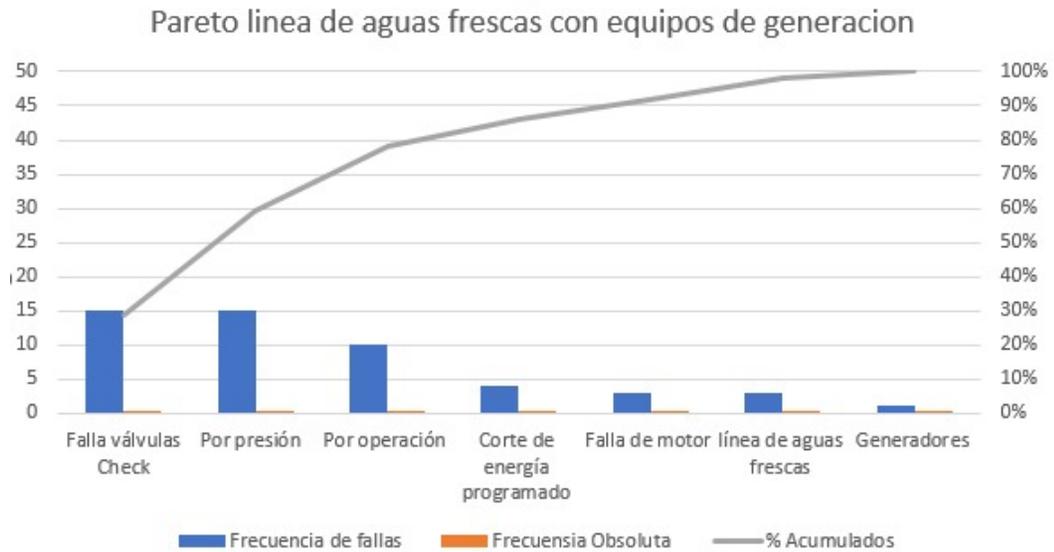
**Tabla N° 6.3: Pareto análisis de falla con la instalación de los generadores.**

ANALISIS DE FALLA PROMEDIO CON INSTALACION DE GENERADORES			
Causas	Frecuencia de fallas	Frecuencia Absoluta	% Acumulados
Falla válvulas Check	15	29%	29%
Por presión	15	29%	59%
Por operación	10	20%	78%
Corte de energía programado	4	8%	86%
Falla de motor	3	6%	92%
línea de aguas frescas	3	6%	98%
Generadores	1	2%	100%
Total	51	100%	

Fuente: elaboración propia

Al implementar los equipos de respaldo, se puede observar que las causas más frecuentes de fallas han cambiado, siendo la más recurrente las fallas por las válvulas check, por presión y mala operación de los equipos.

La disponibilidad en la línea de aguas frescas ha aumentado disminuyendo las fallas y mejorando la continuidad operacional de la línea como así los motores y mantener un nivel estable en el área para evitando derramen en el sector y corte de caminos por detenciones inesperadas.



**Figura N° 6.3: Gráfica de Pareto análisis de falla después de instalar los generadores.**

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en esta grafica que el 20 % está concentrado ya no en las líneas de aguas frescas y motores, si no en lo equipos en los cuales anteriormente estaban dentro del 80 % de acuerdo con el análisis anterior.

Con estos resultados se refleja en la importancia del cumplimiento de la instalación de los generadores en la línea de aguas frescas y objetivos de mejorar la confiabilidad del sistema ante detenciones o cortes de energías inesperados.

Aplicando el método de Pareto nos da alternativa para mejorar en los niveles de confiabilidad en los puntos débiles en base a reforzar un sistema eléctrico de distribución de Minera Candelaria mediante el 80/20

## **CAPITULO VII**

### **CONCLUSIONES**

Este proyecto destaca la importancia de la continuidad operacional en Minera Candelaria y cómo la combinación de infraestructura adecuada, sistemas eléctricos confiables y planes de mantenimiento sólidos, contribuyen a garantizar un buen uso del recurso hídrico que es necesario para la producción y continuidad operacional de la compañía.

Se concluye que, para la implementación de este sistema de respaldo en la línea de aguas frescas, existían costos tales como los de compra de los dos equipos de generación, con una suma de USD\$ 992.658 sumado el estanque de combustible de 20.000 litros cuyo valor es de USD\$ 22.658 y, además, de la implementación por parte de personal de Minera Candelaria que tiene un costo de USD\$ 6.447. Estos costos pasan a ser irrelevantes ante las pérdidas operacionales que se producen al tener los equipos detenidos por un blackout o reparación de la línea, ya que se estimó que el costo por detención de 1 hora de Producción equivale a USD\$ 62.000, y en la mina, al tener los equipos detenidos genera un costo de USD\$ 180.792 como se explican el punto 5.7.9. Aunque el costo de implementación es alto, este es provechoso versus la pérdida que se produce en la producción por detención de la línea y por la detención de los equipos mineros alrededor de las 8 horas, evidenciando claramente un antes y un después de la implementación de este sistema.

Frente al siguiente Objetivo “Cálculo de la malla a tierra respecto a lo referente al pliego técnico RIC 03, 05 y 06”, se cumple que la pérdida de tensión es menor a un 3 %, la resistencia de la malla es menor a 20  $\Omega$  y las recomendaciones que hace el pliego RIC N° 06 fueron realizadas, a través de este proyecto, se ha llegado a las siguientes conclusiones: que la implementación de las normas demuestra un firme compromiso con el cumplimiento de los estándares presentados que establecen las medidas de protección contra tensiones peligrosas y descargas eléctricas que se deben considerar en la ejecución del proyecto y en el uso de las instalaciones de consumo de energía eléctrica.

Esto es esencial para garantizar la seguridad de los trabajadores como se demuestra en el Capítulo V. Además, en el desarrollo del proyecto se logra estudiar el diseño de una malla a tierra a través de dos métodos propuestos. No obstante, queda abierta la posibilidad de utilizar otros modelos presentes para realizar los cálculos, optimizando aún más los valores de resistencia, pero ese análisis más complejo se escapa de los objetivos de este proyecto, ya que con los métodos utilizados se mantienen los estándares de seguridad y de protección a las personas e instalaciones, lo que se comprueba con los valores obtenidos dentro de lo que establece la norma chilena.

Y por último en relación con el objetivo específico sobre “Elaborar pautas de planificación de mantenimiento preventivo, tales como inspección semanal, mensual y anual para las unidades generadoras de respaldo del sistema de extracción de aguas frescas de Minera Candelaria”, podemos concluir que la creación de pautas de planificación para el mantenimiento preventivo de las unidades generadoras de respaldo, son entregadas al departamento de mantención. Estas pautas fueron creadas y revisadas por personal especialista del Taller Eléctrico de Mantención y Servicios, en donde se utilizaron técnicas de mantenimiento como los datos del fabricante, que es un paso a seguir para garantizar la operación confiable y continua de los componentes críticos en la operación del sistema de generación de respaldo.

En resumen, la elaboración de pautas de planificación de mantenimiento preventivo para las unidades generadoras de respaldo en el sistema de extracción de aguas frescas de Minera Candelaria es una inversión crítica para asegurar la continuidad operativa, la seguridad y la eficiencia de las operaciones mineras. Estas pautas no solo protegen los activos y recursos de la empresa, sino que también contribuyen al cumplimiento normativo y a la sostenibilidad a largo plazo de la operación minera.

Con esta implementación y el mantener los equipos en condiciones y con sus chequeos preventivos y mantenciones al día, se logra mantener una buena continuidad del proceso productivo reflejado en la mejora y reducción de costos, tanto en el área de mantención como en área de la mina, permitiendo que las horas hombre pueden ser destinadas a otras

labores de mantención, mejorando la gestión de riesgo y seguridad, lo cual se refleja en la calidad de las mantenciones y del servicio a otras áreas. Es importante destacar que el éxito de un plan de mantenimiento depende única y exclusivamente del capital humano, teniendo como principales virtudes la disciplina y el orden; ya que, todo plan de mantenimiento proveniente de un análisis y resulta en un documento real, que debe actualizarse continuamente con acotaciones y aportes en el uso del sistema, de tal manera que se acerque cada vez más a las necesidades reales del mantenimiento del sistema de respaldo en su medio operacional.

Con este proyecto se logró:

- ✚ Aumentar la disponibilidad de especialistas para otras tareas de mantenimiento.
- ✚ Destinar equipos de apoyo como el Motivator para otras áreas de producción, (Mantenciones y movimientos de palas y perforadoras).
- ✚ Disminuir los riesgos de accidentes o incidentes, tales como atropellos, colisiones, caídas, etc. debido a las maniobras de traslado de los equipos.
- ✚ Evitar el contacto directo con la energía eléctrica al tener que realizar maniobras de cierre y apertura de interruptores de manera presencial, ya que el sistema cuenta con aperturas y cierres automatizados.

En cuanto a si el sistema de generación empleado es el adecuado para la compañía podríamos decir que sí, debido a las dimensiones físicas del lugar donde se requería instalar dichos equipos, considerando que otras tecnologías requieren mayor infraestructuras y espacio para ser instaladas, por ejemplo, a una planta fotovoltaica o eólica, que para generar potencias similares a las suministradas por los generadores diésel de este proyecto, se necesita una mayor superficie de terreno, sin contemplar la instalación estratégica de estas, ya que en mayor parte depende de las condiciones climáticas que presente el entorno donde se deseen instalar.

## BIBLIOGRAFÍA

Baroing. (s/f.). *Sistema de enclavamiento interlock*. Revisado en <https://baroig.com/loto/dispositivos-bloqueo/interlock/>

Briseño, J. (2015) *Manual Para la medición de resistividad del suelo*. Universidad de los Andes. Venezuela.

Coesa Ingeniería. (s/f.). *Puesta a tierra*. Revisado en <https://www.coesaingenieria.com>

Córdova, J. (1994). *Distribución industrial de la energía eléctrica*. Chile: Cocesa.

Dirección de estudios y Políticas Públicas, Comisión Chilena del Cobre. (2020). *Consumo de agua en la minería del cobre al 2019*. Ministerio de Minería. Chile

Dirección de estudios y Políticas Pública. Comisión del cobre, (2021) *consumo de agua en la Minería. informes naciones unidas sobre agua*. Ministerio de Minería. Chile.

Decreto 80, ( 5 marzo 2020). Ministerio De Energía. *Aprueba Reglamento De Seguridad De Las Instalaciones De Consumo De Energía Eléctrica*. Diario oficial República de Chile, Santiago, Chile.

Gobierno de Chile, Ministerio de energía. (2020). *Pliego Técnico Normativo RIC N° 06*. Chile: SEC - División de Ingeniería de Electricidad.

IEEE Guide for Safety in Substation Grounding, in IEEE Std 80-1976, vol., no., pp.1-78, 30 June 1976, doi: 10.1109/IEEESTD.1976.7185311.

Orellana, M. (2018/2019). *Curvas patrón*. Studocu. Duoc UC. Chile.

Omega electric. (s/f.). *¿Qué es un reconector?* Revisado en <https://transformadoresiosac.com/que-es-un-reconector/>

Pramac, (s/f). *Grupo electrógeno.* Revisado en [https://www.pramac.com/es\\_ES/aboutstationarygenerators](https://www.pramac.com/es_ES/aboutstationarygenerators)

Prysmian Group, General cable. (2019). *Catálogo de productos.* Chile: Cocesa.

Quintana. E.(2019) *Guía Técnica. Homologación de modelos dinámicos.* Coordinador eléctrico Nacional. Revisado en <https://www.coordinador.cl/wp-content/uploads/2019/08/Gu%C3%ADa-T%C3%A9cnica-Homologaci%C3%B3n-de-modelos-din%C3%A1micos.pdf>

Rhona, (s/f). *Equipos compacto de medida.* Revisado en <https://rhona.cl/seccion/38/compactos-de-medida.html>

Saa, R.(2022). *Desalinización de aguas de mar en el marco de la propuesta constitucional.* Centro de Análisis de Políticas Públicas, Universidad de Chile.

Shen (2016). *Pautas de mantenimiento.* Revisado en [https://www.shenre.cl/shentec/wp-content/uploads/2016/09/22\\_Br\\_SHENRE\\_Pautas.pdf](https://www.shenre.cl/shentec/wp-content/uploads/2016/09/22_Br_SHENRE_Pautas.pdf)

Universidad del Bio Bio.(s/f) *Caso práctico de estudio: Cálculo de Malla de Pozo a Tierra.* Revisado en [https://camaradecomercioempresarial.org/wp-content/uploads/wpcfto\\_files/46c89a061e1a1402f26cfa2fc4cdb3eet14%20-%20Mod14.pdf](https://camaradecomercioempresarial.org/wp-content/uploads/wpcfto_files/46c89a061e1a1402f26cfa2fc4cdb3eet14%20-%20Mod14.pdf)

Universidad Nacional de La Plata. (s/f.) *Aparatos y Equipos de Maniobras (Capítulo III).* Catedra de Ingeniería. Revisado en <https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/sispot/Libros%202007/libros/ie/ie-03/ie-03.htm>

## GLOSARIO

- ✚ **ARO:** Análisis de riesgo Operacional, documento de seguridad a realizar por los interventores de la actividad y que describe la secuencia del trabajo a realizar, analiza los riesgos y las acciones para controlarlos.
  
- ✚ **Autonomía:** Capacidad que posee el equipo para mantenerse en servicio sin necesidad de recurrir al abastecimiento de la fuente de consumo para poder generar la energía eléctrica.
  
- ✚ **Blackout:** Pérdida inesperada del suministro eléctrico de un área en un tiempo indeterminado producto de un fallo en alguno de los elementos que componen el sistema de suministro.
  
- ✚ **Capacidad nominal:** La capacidad nominal en una unidad generadora, que para el caso y de ahora en adelante será grupo electrógeno, es la potencia en kVA (Kilo – Volt – Amper) que entrega en su salida cuando está operando a sus valores nominales de tensión, frecuencia y corriente eléctricas.
  
- ✚ **Compacto de medida:** Un equipo compacto de medida reúne en un solo estanque los transformadores individuales de corriente y de tensión necesarios para realizar mediciones de consumo y de las variables eléctricas del lado de media tensión. (Rhona. cl., s/f).
  
- ✚ **Corriente nominal:** La corriente nominal es el cociente entre la capacidad nominal en kVA y la tensión eléctrica nominal en Volts en el caso de grupos electrógenos monofásicos; para grupos electrógenos trifásicos se requiere dividir este cociente por  $\sqrt{3}$ .

- ✚ **Desconectador bajo carga:** Desconectador o seccionador bajo carga es el aparato mecánico de conexión, capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en las condiciones normales de circuito, incluyendo eventualmente condiciones especificadas de sobrecarga, así como soportar por un lapso especificado corrientes anormales (tales como las de cortocircuito). (Universidad Nacional de la Plata, s/f)
  
- ✚ **Estudio de puesta a tierra:** Tiene la finalidad de determinar la resistencia de la malla de tierra y/o electrodos de tierra para corroborar si esta cumple con el valor teórico de diseño o en su defecto si sigue cumpliendo con el valor mínimo necesario establecido en las normas.
  
- ✚ **Estudio de resistividad de suelo:** Su objetivo es determinar la resistencia de la tierra y/o suelo donde se planea construir o instalar un sistema de “puesta a tierra”. Este estudio es importante para determinar el número de conexiones a tierra y la profundidad a la que deben enterrarse para obtener la baja resistencia de la red de tierra como se especifica en la norma. (Coesa ingeniería, s/f).
  
- ✚ **Grupo electrógeno:** Un conjunto que incluye un motor que puede ser diésel, de gas o de gasolina, junto con un alternador, diseñado de manera que genera electricidad. Los generadores eléctricos se emplean principalmente para proporcionar energía en situaciones donde hay interrupciones en el suministro eléctrico. (Pramac.cl, s/f)
  
- ✚ **Interlock eléctrico:** Un sistema de enclavamiento interlock, también conocido como sistema de transferencia de llave, se distingue por ser un sistema ya sea mecánico o electromecánico que asegura que las acciones que conllevan un potencial riesgo de activación no deseada se efectúen únicamente después de haber completado uno o varios procedimientos previamente definidos. (Baroig.com, s/f)

- ✚ **Reconectador:** Un interruptor eléctrico automático de alta tensión, similar a un disyuntor en las instalaciones eléctricas residenciales, interrumpe el suministro de energía en caso de incidencias como un cortocircuito. En situaciones donde la anomalía fue momentánea, el Reconectador se activa automáticamente y restablece el flujo de energía eléctrica. (Omega Electric, s/f).
  
- ✚ **Malla de tierra:** Conjunto de conductores desnudos que permiten conectar los equipos que componen una instalación a un medio de referencia, en este caso la tierra. (ubiobio.cl, s/f).
  
- ✚ **Unidad generadora:** Equipo generador eléctrico que posee equipos de accionamiento propios, sin elementos en común con otros equipos generadores. Una unidad generadora puede ser accionada mediante combustibles, energía solar, eólica o hidráulica. (Quintana. E, 2019).



Baja Tensión - Fuerza para servicio - Flexibles

**SUPERFLEX®**  
**SUPERFLEX® / TC**  
**RV-K FOC**

Mono y multiconductor extraflexibles, aislación XLPE y cubierta PVC. Cables de tierra y/o neutros opcionales. 1000 V  
Los cables con calibres en AWG se denominan SUPERFLEX y los basados en el sistema milimétrico RV-K FOC



LIBRE DE PLOMO



CONDUCTOR FLEXIBLE



RESISTENTE AL AGUA



RESISTENCIA A LA INTemperie



RESISTENCIA A IMPACTOS

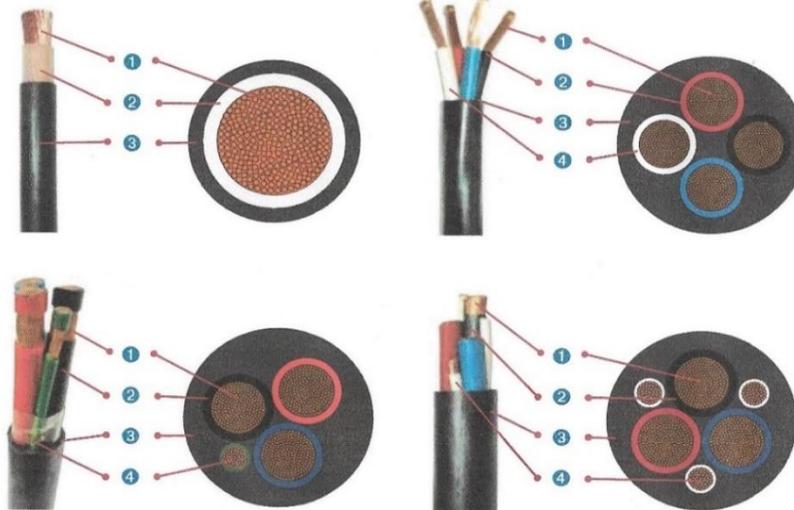


RETARDANTE A LA LLAMA



REDUCIDO RADIO DE CURVATURA

- 1 CONDUCTOR: cobre flexible, clase I ó 5 según versión (ver Características de operación).
- 2 AISLACIÓN: XLPE.
- 3 CUBIERTA EXTERIOR: PVC de color negro. Otros colores disponibles a pedido.
- 4 CONDUCTOR NEUTRO (solo en los SUPERFLEX multipolares): puede ser al 100% (como cuarto conductor) o al 50% en cuyo caso está compuesto por 1 ó 3 conductores.



SISTEMA DE GESTIÓN CERTIFICADO ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001  
[www.generalcable.com](http://www.generalcable.com)

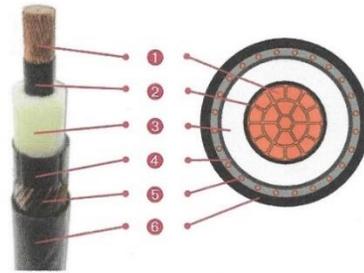
**Figura N° A.2: ficha técnica del cable BT.**

Media Tensión

## XAT® MONOCONDUCTOR

## EAT® MONOCONDUCTOR

Monoconductores de cobre, aislación XLPE-TR en los XAT y EPR en los EAT. Cubierta de PVC. Versiones en 5 kV, 8 kV, 15 kV, 25 kV y 35 kV



- 1 CONDUCTOR de cobre compactado de acuerdo a las normas ASTM B496 ó ASTM B835.
- 2 PANTALLA SEMICONDUCTORA INTERNA extruida sobre el conductor.
- 3 AISIACIÓN: polietileno reticulado retardante a la arborescencia (XLPE-TR) para los XAT. Etileno Propileno (EPR) para los EAT. Ambos compuestos son de color natural y son aplicados mediante proceso de triple extrusión verdadera. El nivel de aislación puede ser de 100% o del 133%.
- 4 PANTALLA SEMICONDUCTORA EXTERNA extruida, con adecuada adhesión al aislamiento que la hace fácil de pelar.
- 5 PANTALLA METÁLICA. Puede estar formada por una cinta de cobre o por hebras de cobre, ambas aplicadas helicoidalmente.
- 6 CUBIERTA EXTERIOR de PVC de color negro. Otros colores y compuestos disponibles a pedido.

**LEYENDA SOBRE LA CUBIERTA:**

XAT: General Cable XAT [calibre] Cu [nivel de tensión, kV] [nivel de aislación, %] XLPE-TR/PVC 90C HECHO EN CHILE

EAT: General Cable EAT [calibre] Cu [nivel de tensión, kV] [nivel de aislación, %] EPR/PVC 90C HECHO EN CHILE

Además de la leyenda con el tipo de cable se imprime una secuencia del metraje.

NOTA: En los cables para instalación en bandejas el nombre del cable en la leyenda aparece como XAT/TC o EAT/TC según el tipo de aislación utilizada.

### APLICACIONES Y USOS

Circuitos primarios y de distribución en media tensión para plantas industriales, comerciales, generadoras de energía eléctrica, alimentación de transformadores, motores y equipos.

Preferentemente usados en redes urbanas.

Los EAT son apropiados para aplicaciones donde sea necesaria mayor flexibilidad que la que presentan los XAT.

### CERTIFICACIONES, PRUEBAS Y NORMAS

Estos cables satisfacen y/o exceden los requerimientos de la norma ICEA S-93-639 y lo establecido en el Sistema de Gestión de Calidad de General Cable/Cocesa ISO 9001.

Los cables marcados para uso en bandejas (Tipo Tray Cable, TC), cumplen el artículo 336 del código eléctrico NEC de USA. Esta característica permite cumplir con una prueba de mayor resistencia a la llama en bandeja vertical indicada, tanto en la norma ICEA T-30-520, como en la norma IEC 60332-3-24 Categoría C.

CAMINO A MELIPILLA 6307, CASILLA 100, CERRILLOS, SANTIAGO, CHILE  
SERVICIO AL CLIENTE: (56) 22 422 2200 • servicio.cliente@generalcable.cl  
MESA CENTRAL: (56) 22 422 2000



Figura N° A.3: ficha técnica del cable de MT.



**INFORMACIÓN TÉCNICA ADICIONAL**

**XAT MONOCONDUCTOR 25 kV 100% DE NIVEL DE AISLACIÓN**

Calibre conductor	Sección nominal	Diámetro del conductor aprox. mm	Espesor aislación nominal mm	Diámetro total aprox. mm	Peso total aprox. kg/km	Resistencia máx. a 20 °C CC Ω/km	Capacidad μF/km	Capacidad de corriente A		
								Ducto enterrado 3 conductores temp. amb. 20 °C	Directamente enterrado 3 conductores temp. amb. 20 °C	Aire libre 3 cond. triplexados a temp. amb. 40 °C
1	42,4	7,7	6,6	29,0	1.168	0,423	0,14	175	240	195
1/0	53,5	8,7	6,6	30,0	1.304	0,335	0,15	200	275	225
2/0	67,4	9,7	6,6	31,1	1.468	0,266	0,16	230	310	260
3/0	85	10,9	6,6	32,5	1.679	0,211	0,17	260	355	300
4/0	107	12,2	6,6	34,3	1.957	0,167	0,18	295	405	345
250	127	13,2	6,6	35,2	2.166	0,141	0,19	325	440	380
350	177	15,5	6,6	37,6	2.703	0,101	0,21	390	535	470
500	253	18,6	6,6	41,1	3.508	0,0708	0,24	465	650	580
750	380	23,0	6,6	47,2	5.019	0,0472	0,29	565	805	730
1000	507	27,0	6,6	51,7	6.373	0,0354	0,32	640	930	850

**XAT MONOCONDUCTOR 25 kV 133% DE NIVEL DE AISLACIÓN**

Calibre conductor	Sección nominal	Diámetro del conductor aprox. mm	Espesor aislación nominal mm	Diámetro total aprox. mm	Peso total aprox. kg/km	Resistencia máx. a 20 °C CC Ω/km	Capacidad μF/km	Capacidad de corriente A		
								Ducto enterrado 3 conductores temp. amb. 20 °C	Directamente enterrado 3 conductores temp. amb. 20 °C	Aire libre 3 cond. triplexados a temp. amb. 40 °C
1	42,4	7,7	8,13	32,6	1.377	0,423	0,12	175	240	195
1/0	53,5	8,7	8,13	33,6	1.519	0,335	0,13	200	275	225
2/0	67,4	9,7	8,13	34,6	1.686	0,266	0,14	230	310	260
3/0	85	10,9	8,13	36,0	1.905	0,211	0,15	260	355	300
4/0	107	12,2	8,13	37,5	2.160	0,167	0,16	295	405	345
250	127	13,2	8,13	38,4	2.374	0,141	0,17	325	440	380
350	177	15,5	8,13	40,8	2.923	0,101	0,18	390	535	470
500	253	18,6	8,13	45,9	3.945	0,0708	0,21	465	650	580
750	380	23,0	8,13	50,8	5.336	0,0472	0,24	565	805	730
1000	507	27,0	8,13	54,9	6.667	0,0354	0,27	640	930	850

CAMINO A MELIPILLA 6307, CASILLA 100, CERRILLOS, SANTIAGO, CHILE  
 SERVICIO AL CLIENTE: (56) 22 422 2200 • servicio.cliente@generalcable.cl  
 MESA CENTRAL: (56) 22 422 2000



**Figura N° A.4: ficha técnica del cable de MT 2.**

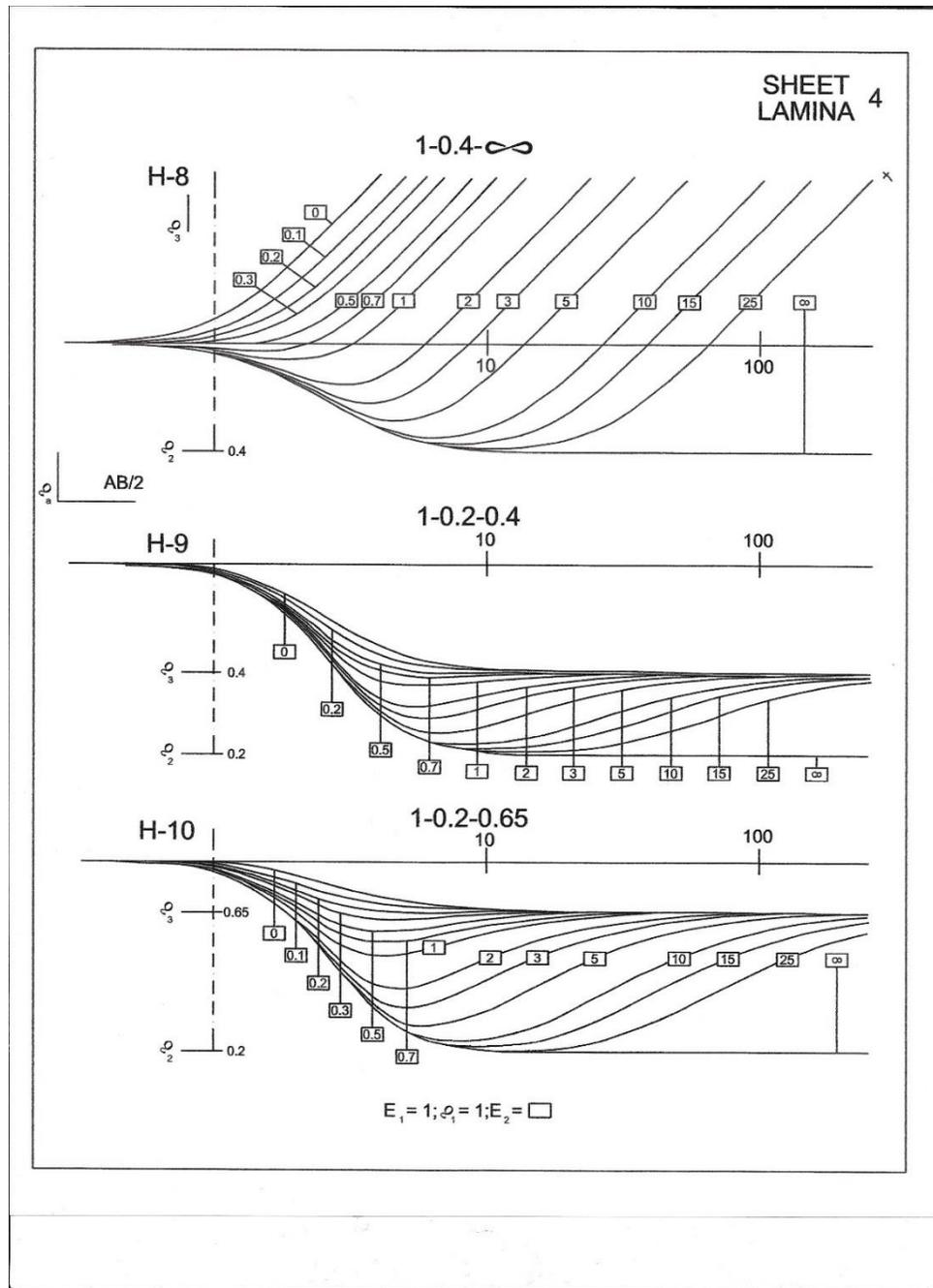


Figura N° A.5: curva patrón h – 8 Orellana Mooney.





ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO												
Centro:	2000 Candelaria				N° Orden de Trabajo:							
Tipo Orden:	PM02 Orden de Mantenimiento Preventivo				Status:	MCMP						
Descripción de la orden:	-----				Impreso:	30.06.2022 Thursday						
Número de Reserva												
CABECERA DE LA ORDEN												
Área empresa				Panel MCC:								
Número de equipo	1003757	GENERADOR No.60 - LINEA 23KV		TAG:	<b>GEN0060</b>							
Ubicación Técnica	CA-MINE-WTSP-SEEP-DGEN	GENERADORES DIESEL		Prioridad	-							
Puesto de trabajo Resp.	CTALELO	TALLER ELECTRICO		Grupo Planificador:	120 - Mantencion Tallere							
Número de aviso				Fecha de inicio:	14.06.2022							
Autorizaciones:				Actividad Mant.:	215 - MEDICIONES							
				Fecha Modificación: 11.06.2022 Modificado por: IP1020220611								
TRABAJO												
Oper #	Puesto de Trabajo	Descripción operación			Fecha de inicio	Estado de instalación	Trabajo Hrs	N° de Empleado	Duración Hrs	Rem Hrs		
0010	CTALELO	-----			14.06.2022		1	1	1	0.0		
COMPONENTES												
OpAc	Cant	Cant	Un	Material #	Manuf. Material #	Descripción de la pieza	Ubicación #	Almacén	Total	Stock	Min	Max
TERMINADO												
¿Trabajo terminado?						<input type="checkbox"/> Si		<input type="checkbox"/> No				
¿Requiere trabajo adicional?						<input type="checkbox"/> Si		<input type="checkbox"/> No				
FIRMAS												
Empleado #1					Fecha y Hora Inicio:			Firma				
					Fecha y Hora Fin:							
Empleado #2					Fecha y Hora Inicio:			Firma				
					Fecha y Hora Fin:							
Autorización del Supervisor					Fecha y Hora			Firma				

Figura N° A.7: pauta inspección visual, página 1.

 <b>Candelaria</b> <small>luz y vida</small>							
<b>PAUTA DE INSPECCION EQUIPO</b>							
<b>DOCUMENTACION</b>				<b>INFORMACION EQUIPO</b>			
Area				Marca G.E			
Ubicación				Modelo G.E			
Tag				S/N Equipo			
Fecha Inspeccion				Marca Generador			
Especialidad				S/N Motor			
<b>CHECK LIST DEL EQUIPO</b>							
<b>DESCRIPCION</b>	<b>B</b>	<b>R</b>	<b>M</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>B</b>	<b>R</b>	<b>M</b>
Nivel de aceite				Panel control electronico			
Nivel refrigerante				Bomba cebado manual			
Nivel combustible				Mantenedor de baterias			
Fugas equipo				Gobernador electronico			
Filtro de aceite				Sensores			
Filtro de Aire				Pickup magnetico			
Filtro combustible				Tablero Transferencia Automatico			
Mangueras Calefactor				Braker G.E			
Mangueras radiador				Cables de fuerza			
Panel / tapa radiador				Conexiones Electrica			
correas				Ductos de escape			
Gabinete ionizado				anclaje de equipo			
Chapas gabinete				Manuales y Planos			
Calefactor				Llaves del equipo			
Baterias				Alarmas			
<b>PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO</b>							
P° aceite				Alternador 12/24 V			
T° refrigeracion				Frecuencia			
P° carter				RPM Motor			
<b>VOLTAJES</b>				<b>CORRIENTES</b>			
V1				I1			
V2				I2			
V3				I3			
<b>OBSERVACIONES IMPORTANTES</b>							
<b>EJECUTOR</b>				<b>SUPERVISOR</b>			
Nombre Responsable				Nombre Responsable			
Firma				Firma			

Figura N° A.8: pauta inspección visual, página 2.



ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO												
Centro:	2000 Candelaria						N° Orden de Trabajo:					
Tipo Orden:	PM02 Orden de Mantenimiento Preventivo						Status:	MCMP				
Descripción de la orden:	-----						Impreso:	30.06.2022 Thursday				
Número de Reserva												
CABECERA DE LA ORDEN												
Área empresa							Panel MCC:					
Número de equipo	1003757		GENERADOR No.60 - LINEA 23KV			TAG:	<b>GEN0060</b>					
Ubicación Técnica	CA-MINE-WTSP-SEEP-DGEN		GENERADORES DIESEL			Prioridad	-					
Puesto de trabajo Resp.	CTALELO		TALLER ELECTRICO			Grupo Planificador:	120 - Mantencion Tallere					
Número de aviso							Fecha de inicio:	14.06.2022				
Autorizaciones:						Actividad Mant.:	215 - MEDICIONES					
						Fecha Modificación: 11.06.2022 Modificado por: IP1020220611						
TRABAJO												
Oper #	Puesto de Trabajo	Descripción operación				Fecha de inicio	Estado de instalación	Trabajo Hrs	N° de Empleado	Duración Hrs	Rem Hrs	
0010	CTALELO	-----				14.06.2022		1	1	1	0.0	
COMPONENTES												
OpAc	Cant	Cant	Un	Material #	Manuf. Material #	Descripción de la pieza	Ubicación #	Almacén	Total	Stock	Min	Max
TERMINADO												
¿Trabajo terminado?						<input type="checkbox"/> Si		<input type="checkbox"/> No				
¿Requiere trabajo adicional?						<input type="checkbox"/> Si		<input type="checkbox"/> No				
FIRMAS												
Empleado #1							Fecha y Hora Inicio:					
							Fecha y Hora Fin:	Firma				
Empleado #2							Fecha y Hora Inicio:					
							Fecha y Hora Fin:	Firma				
Autorización del Supervisor							Fecha y Hora	Firma				

**Figura N° A.9: pauta mantenimiento Página 1**

 <b>Candelaria</b> <small>Luncin Mining</small>											
PAUTA DE MANTENCION DEL EQUIPO											
DOCUMENTACION					INFORMACION EQUIPO						
Area					Marca G.E						
Ubicación					Modelo G.E						
Tag					S/N Equipo						
Fecha Inspeccion					Marca Generador						
Especialidad					S/N Motor						
CHECK LIST DEL EQUIPO											
DESCRIPCION	B	R	M	DESCRIPCION	B	R	M	DESCRIPCION	B	R	M
Nivel de aceite				Panel control electronico							
Nivel refrigerante				Bomba cebado manual							
Nivel combustible				Mantenedor de baterias							
Fugas equipo				Gobernador electronico							
Filtro de aceite				Sensores							
Filtro de Aire				Pickup magnetico							
Filtro combustible				Tablero Transferencia Automatico							
Mangueras Calefactor				Braker G.E							
Mangueras radiador				Cables de fuerza							
Panel / tapa radiador				Conexiones Electrica							
correas				Ductos de escape							
Gabinete ionizado				anclaje de equipo							
Chapas gabinete				Manuales y Planos							
Calefactor				Llaves del equipo							
Baterias				Alarmas							
REEMPLAZO DE COMPONENTES											
DESCRIPCION	SI	NO	N/P	DESCRIPCION	SI	NO	N/P	DESCRIPCION	SI	NO	N/P
Filtro de aire				Correa accesorios							
Filtro de Combustible 1				Baterias							
Filtro de Combustible 2				Refrigerante							
Filtro de aceite				Empaq. Tapa v/v							
Filtro refrigerante				Empaq. Carter aceite							
Aceite				Mangueras							
REVISION POST MANTENIMIENTO											
	50%	75%	100%		50%	75%	100%				
P° aceite				Alternador 12/24 V							
T° refrigeracion				Frecuencia							
P° carter				RPM Motor							

Figura N° A.10: pauta de mantenimiento, página 2.

 <b>Candelaria</b> <small>luminos manteniendo</small>									
<b>REVISION POST MANTENIMIENTO</b>									
<b>VOLTAJES</b>					<b>CORRIENTES</b>				
% DE CARGA	KVA	L1	L2	L3	% DE CARGA	KVA	L1	L2	L3
50%					50%				
75%					75%				
100%					100%				
<b>OBSERVACIONES IMPORTANTES</b>									
<b>EJECUTOR</b>					<b>SUPERVISOR</b>				
Nombre Responsable					Nombre Responsable				
Firma					Firma				

**Figura N° A.11: pauta de mantenimiento, página 3.**



ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO												
Centro:	2000 Candelaria				N° Orden de Trabajo:							
Tipo Orden:	PM02 Orden de Mantenimiento Preventivo				Status:	MCMP						
Descripción de la orden:	-----				Impreso:	30.06.2022 Thursday						
Número de Reserva												
CABECERA DE LA ORDEN												
Área empresa				Panel MCC:								
Número de equipo	1003757	GENERADOR No.60 - LINEA 23KV		TAG:	<b>GEN0060</b>							
Ubicación Técnica	CA-MINE-WTSP-SEEP-DGEN	GENERADORES DIESEL		Prioridad	-							
Puesto de trabajo Resp.	CTALELO	TALLER ELECTRICO		Grupo Planificador:	120 - Mantencion Tallere							
Número de aviso				Fecha de inicio:	14.06.2022							
Autorizaciones:				Actividad Mant.:	215 - MEDICIONES							
				Fecha Modificación: 11.06.2022 Modificado por: IP1020220611								
TRABAJO												
Oper #	Puesto de Trabajo	Descripción operación			Fecha de inicio	Estado de instalación	Trabajo Hrs	N° de Empleado	Duración Hrs	Rem Hrs		
0010	CTALELO	-----			14.06.2022		1	1	1	0.0		
COMPONENTES												
OpAc	Cant	Cant	Un	Material #	Manuf. Material #	Descripción de la pieza	Ubicación #	Almacén	Total	Stock	Min	Max
TERMINADO												
¿Trabajo terminado?				<input type="checkbox"/> Si		<input type="checkbox"/> No						
¿Requiere trabajo adicional?				<input type="checkbox"/> Si		<input type="checkbox"/> No						
FIRMAS												
Empleado #1					Fecha y Hora Inicio:							
					Fecha y Hora Fin:		Firma					
Empleado #2					Fecha y Hora Inicio:							
					Fecha y Hora Fin:		Firma					
Autorización del Supervisor					Fecha y Hora		Firma					

Figura N° A.10: pauta pruebas de equipo, página 1

 <b>Candelaria</b> <small>lundin mining</small>						
PROTOCOLO DE PRUEBA GRUPO GENERADOR						
DOCUMENTACION			INFORMACION EQUIPO			
Area			Marca G.E			
Ubicación			Modelo G.E			
Tag			S/N Equipo			
Fecha Inspeccion			Marca Generador			
Especialidad			S/N Motor			
CHEQUEO PRELIMINAR DEL EQUIPO			OK: Sin defecto X: Defecto/Anomalia N/A: No aplica			
Nivel de aceite	1/4 <input type="checkbox"/>	1/2 <input type="checkbox"/>	3/4 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	Alarmas	
Nivel de coolant	1/4 <input type="checkbox"/>	1/2 <input type="checkbox"/>	3/4 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	Filtro de aceite	
Nivel de combustible	1/4 <input type="checkbox"/>	1/2 <input type="checkbox"/>	3/4 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	Filtro de aire	
Fugas de equipo					Filtro de combustible	
PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO GRUPO GENERADOR						
DESCRIPCION	PRUEBA EN VACIO	50 % CARGA	50 % CARGA	100% CARGA		
RPM Motor						
Alternador 12/24 V						
Frecuencia						
T° Aceite						
P° combustible						
T° refrigerante						
P° carter						
T° entrada radiador						
T° aire de entrada						
T° turbo banco derecho						
T° turbo banco izquierdo						
Corriente L1						
Corriente L2						
Corriente L3						
Voltaje L1						
Voltaje L2						
Voltaje L3						
Cosumo comb. (Diesel)						
Blue by motor						

**Figura N° A.13: pauta pruebas de equipo, página 2.**

 <b>Candelaria</b> <small>audits training</small>			
OBSERVACIONES IMPORTANTES			
EJECUTOR		SUPERVISOR	
Nombre Responsable		Nombre Responsable	
Firma		Firma	

**Figura N° A.14: pauta pruebas de equipo, página 3.**