



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

HABILITACIÓN SWG MINA SUBTERRÁNEA ALCAPARROSA

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

Profesor Guía: Juan Astorga Gómez

Fernando Abraham Pérez Flores

Copiapó, Chile 2024

AGRADECIMIENTOS

Desde que comencé en el mundo de la electricidad, ser ingeniero parecía un sueño muy lejano, y ahora me encuentro en la etapa final para lograrlo, lo cual es un motivo de gran orgullo.

No puedo dejar de agradecer a mi familia, cuyo apoyo incondicional ha sido fundamental, a mi esposa e hijas, por su paciencia y apoyo constante en cada momento del proceso, les debo gran parte de este logro. A mi madre, por su amor incondicional y su constante aliento. Todo el amor y comprensión que me han brindado fue vital para seguir adelante día a día.

A Dios, por darme la fuerza y la sabiduría para superar los retos y seguir persiguiendo mis metas.

A la empresa JMT, por el apoyo brindado durante mi formación y el desarrollo de este trabajo.

Y finalmente, a mis colegas que generosamente compartieron su conocimiento y aportaron información valiosa para la realización de este proyecto, y a mis profesores de la Universidad, cuya orientación y enseñanzas fueron esenciales en mi formación académica y profesional.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue optimizar la distribución eléctrica y mejorar la fiabilidad del suministro energético en la mina subterránea Alcaparrosa mediante la implementación de un sistema de Switchgear Schneider de 24 kV. Este trabajo de finalización de estudios se centró en el análisis, diseño, instalación y puesta en marcha del sistema, buscando garantizar la seguridad operativa y la continuidad en el abastecimiento de energía para los equipos críticos de la operación minera. Se comenzó con un análisis exhaustivo del diseño eléctrico actual de la mina, identificando deficiencias como la falta de redundancia y la dependencia de subestaciones, lo que afectaba directamente la producción y seguridad. En la fase de implementación, se realizaron cálculos de corriente nominal, selección de conductores, y dimensionamiento de protecciones para cada circuito eléctrico. La instalación incluyó pruebas de relés de protección SEPAM S20, que fueron calibrados y ajustados para asegurar un funcionamiento adecuado. La medición de la resistencia de puesta a tierra también se realizó con un valor promedio de 4.03 ohmios, cumpliendo con las normativas de seguridad. Como resultado, la implementación del Switchgear mejoró significativamente la estabilidad operativa, redujo los tiempos de inactividad y optimizó la distribución de energía, asegurando la operatividad continua en la mina incluso durante fallas o mantenimientos programados, lo cual contribuyó a aumentar la seguridad y la productividad.

ABSTRACT

The main objective of this study was to optimize the electrical distribution and improve the reliability of the energy supply at the Alcaparrosa underground mine through the implementation of a 24 kV Schneider Switchgear system. This final thesis focused on the analysis, design, installation, and commissioning of the system, aiming to ensure operational safety and continuity in the power supply for critical mining equipment. The work began with a thorough analysis of the current electrical design of the mine, identifying deficiencies such as the lack of redundancy and substation interdependence, which directly impacted production and safety. During the implementation phase, current nominal calculations were performed, conductors were selected, and protections for each electrical circuit were sized. The installation included tests of SEPAM S20 protection relays, which were calibrated and adjusted to ensure proper operation. Grounding resistance measurement was also carried out, achieving an average value of 4.03 ohms, complying with safety regulations. As a result, the implementation of the Switchgear significantly improved operational stability, reduced downtime, and optimized energy distribution, ensuring continuous operations even during faults or scheduled maintenance, thereby contributing to increased safety and productivity.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
CAPÍTULO I.....	1
MARCO INTRODUCTORIO	1
1.1. Antecedentes Generales	1
1.2. Objetivos del Proyecto	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3 Planteamiento del Problema.....	3
1.4. Alcance del Proyecto.....	3
1.5. Metodología	4
CAPÍTULO II	5
GENERALIDADES DEL SISTEMA ELECTRICO DE LA MINA ALCARROSA	5
2.1 Descripción de Minera Alcaparrosa.....	5
2.2 Importancia de la distribución eléctrica en minería subterránea.....	7
2.3 Distribución eléctrica	11
2.4 Switchgear.....	13
2.5 SEPM Serie 20 - Schneider Electric: Nomenclatura y Funcionalidades .	17
2.5.1 Características Principales de SEPM Serie 20	17
2.5.2 Aplicaciones Típicas del SEPM Serie 20.....	19
2.5.3 Nomenclatura ABSI de los Relés SEPM Serie 20	20
2.6 SVERKER 900.....	21
2.6.1 PRUEBA DE RELÉS DE PROTECCIÓN SVERKER 900.....	22

CAPITULO III	24
DESCRIPCION DEL PROBLEMA CENTRAL E IMPLEMENTACION DE LA SOLUCION	24
3.1 Descripcion de la problemática y trabajo a desarrollar	24
3.2 Planteamiento de la Solución	26
3.3 Evaluación del Diseño Actual	26
3.3.1 Distribución eléctrica de la Mina Alcaparrosa.	27
3.4 El proceso de implementación de mejora.	29
3.4.1 Cuadro de carga de circuitos	29
3.5 Especificación Técnica equipo SWITCHGEAR para instalación en interior mina.	31
.....	33
3.5.1 Condiciones de servicio:	31
3.5.2 Normativas y cumplimiento:	31
3.5.3 Normas Sísmicas.	33
3.5.4 Condiciones ambientales:.....	33
3.5.5 Instalación	34
3.5.6 Embalaje y transporte.....	36
CAPITULO IV	41
MEMORIAS DE CALCULO Y RESULTADOS	41
4.1Empalme, nivel de tensión y frecuencia.....	41
4.2 Desarrollo de cálculos y set de protecciones.....	44
4.2.1 Alimentador en MT	44
4.2.2 Tabla de conductores en MT	44

4.2.3 Protección en MT	45
4.3 Puesta a Tierra (Malla).....	46
4.3.1. Resultado final.....	47
REVISIÓN DE CALIBRACIÓN DE RELÉS DE PROTECCIONES.....	48
4.4.1 Pruebas revisión de Calibración a Toroides y Relé.....	48
4.4.2 Modelo de Curva Estándar IEC para ajuste de protecciones:	49
4.4.3 Ajuste para Pruebas:.....	50
4.4.4. Resultados de las pruebas:.....	50
Fuente: Archivo personal Fuente: Archivo personal	53
4.4.5 Evaluación de resultados:.....	54
4.4.6 Recomendaciones:.....	55
4.5 Aprobación y Certificación de Materiales	55
4.5.1 Cubicación básica de materiales	56
4.5.2 Conexionado en el Switchgear (SWG)	56
4.5.3 Conexionado en la Subestación (S/E Nv 345)	57
4.5.4 Implementación de Mejoras en Subestaciones.....	59
4.5.5 Resumen de la Afectación: Antes y Después de la Mejora.....	59
CAPÍTULO V	61
CONCLUSIONES	61
TERMINOLOGIA	62
Bibliografía	65

CAPÍTULO I

MARCO INTRODUCTORIO

1.1. Antecedentes Generales

La minería es uno de los sectores productivos más importantes de Chile, constituyendo un pilar fundamental en la economía nacional. Desde siempre, el país ha sido abundante en recursos naturales, como el cobre, el cual destaca como el más significativo. Por esta razón, la minería no solo representa una actividad económica clave, sino que también influye en diversas áreas, como el empleo, el desarrollo regional y la generación de ingresos fiscales. Es por ello que la distribución eléctrica en una empresa minera que opera en un entorno subterráneo se convierte en un elemento crucial para el éxito y la seguridad de las operaciones, donde se utilizan diferentes niveles de tensión.

La interrupción del suministro eléctrico en este contexto puede tener consecuencias graves y complejas, especialmente cuando resulta de una mala distribución eléctrica. En un entorno donde la energía es fundamental para el funcionamiento de maquinarias críticas, como perforadoras, sistemas de ventilación y sistemas de emergencia, cualquier corte de energía puede paralizar las operaciones.

Cuando varios equipos son alimentados desde un mismo circuito, la sobrecarga puede provocar cortes de energía que no solo afectan a esos equipos, sino que también generan pérdidas operacionales significativas. La necesidad de realizar mantenimientos a un circuito sobrecargado puede resultar en la desconexión de varios equipos, interrumpiendo la producción y retrasando el cumplimiento de los objetivos operativos de la empresa. Esta situación se vuelve aún más problemática en momentos de alta demanda, donde la dependencia de un solo punto de suministro puede comprometer toda la operación minera. Además, la falta de energía puede provocar situaciones peligrosas, como la acumulación de gases tóxicos en espacios confinados o la incapacidad para activar sistemas de emergencia. También existe el riesgo de dañar equipos costosos, lo que implica gastos

adicionales en reparaciones y mantenimiento.

Dada esta complejidad, se vuelve esencial contar con una distribución eléctrica eficiente y bien diseñada que minimice los riesgos de interrupciones y garantice un suministro continuo y confiable.

1.2. Objetivos del Proyecto

1.2.1. Objetivo General

Describir la habilitación de un sistema de switchgear (SWG) marca Schneider de clase 24 kV en la operación minera subterránea Alcaparrosa, con el fin de optimizar la distribución eléctrica, mejorar la seguridad operativa y garantizar un suministro continuo y confiable de energía para el funcionamiento de maquinarias críticas, contribuyendo así al cumplimiento de los objetivos productivos y la prevención de riesgos eléctricos en el entorno laboral.

1.2.2. Objetivos Específicos

A continuación, se describen los objetivos específicos del proyecto.

- Realizar un análisis del diseño actual de la distribución eléctrica en la mina para identificar áreas de mejora y determinar la integración óptima del switchgear Schneider.
- Planificar y ejecutar la instalación del sistema de switchgear marca Schneider, asegurando que cumpla con las normativas de seguridad y estándares técnicos requeridos.
- Analizar el impacto de la habilitación del switchgear en la eficiencia operativa, la seguridad y la reducción de interrupciones en el suministro eléctrico, para informar futuras decisiones sobre infraestructura eléctrica.

1.3 Planteamiento del Problema

El presente trabajo de título se enfoca en realizar un estudio y análisis de la habilitación del switchgear Schneider de 24 kV, diseñado para permitir la seccionar e individualizar de los cortes de energía programados por mantenimiento o por fallas operacionales fortuitas. Esta implementación tiene como objetivo proporcionar a las subestaciones protecciones de corte independientes, mejorando así la seguridad y la eficiencia operativa del sistema eléctrico.

Actualmente, el alimentador de media tensión, que corresponde a dos niveles diferentes, se encuentra conectado en paralelo al seccionador principal del switchgear. Este seccionador está protegido directamente por el reconectador RE ubicado en la superficie de la mina. La reconfiguración del sistema mediante la habilitación del switchgear permitirá aislar de manera efectiva las secciones del circuito durante las intervenciones, minimizando el riesgo de interrupciones en el suministro eléctrico y mejorando la capacidad de respuesta ante emergencias.

1.4. Alcance del Proyecto

El proyecto de título tiene como propósito dar a conocer antecedentes técnicos necesarios referente a la habilitación de un SWG marca Schneider clase 24 KV, el cual será instalado en un nivel específico de Minera subterránea Alcaparrosa y pudiendo ser replicados en distintas faenas mineras subterráneas. Acogiéndose a las normas técnica de electricidad. Se dará a conocer la importancia de una buena distribución eléctrica y su efecto positivo en la operación de una minera subterránea.

Se considerará ajustes de prueba de relé sepam 20, quedando sugerida la protección y a la espera de validación de empresa mandante.

1.5. Metodología

La metodología para instalar un Switchgear (SWG) de media tensión con las características especificadas en un ambiente de mina subterránea debe considerar varios aspectos clave debido a las condiciones exigentes de este tipo de entorno. Estos aspectos incluyen la seguridad, el espacio limitado, las condiciones ambientales (como polvo y humedad), y los riesgos asociados con el trabajo en un entorno potencialmente peligroso. A continuación, se detalla una metodología general para llevar a cabo la instalación de un equipo Metal Enclosed Switchgear (ME) en una mina subterránea.

1. **Preparación Previa:** Revisión de planos, verificación del espacio disponible y evaluación de condiciones ambientales. Inspección de equipos y documentación técnica.
2. **Transporte y Montaje:** Uso de equipos adecuados (grúas, carretillas) para mover el switchgear con protección. Verificación de que la base esté nivelada y lista.
3. **Conexión Eléctrica:** Conexión de cables según el diagrama unilineal, asegurando un buen contacto y correcta puesta a tierra. Instalación de transformadores y componentes internos.
4. **Pruebas Pre-Operacionales:** Inspección de seguridad, pruebas de funcionalidad, aislamiento y verificación de comunicación con SCADA.
5. **Capacitación:** Formación del personal en operación, mantenimiento y seguridad.
6. **Puesta en Servicio:** Conexión a la red eléctrica y monitoreo mediante SCADA. Verificación de alarmas y protección.
7. **Mantenimiento y Monitoreo:** Implementación de un plan de mantenimiento preventivo y monitoreo remoto.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES DEL SISTEMA ELECTRICO DE LA MINA ALCARROSA

2.1 Descripción de Minera Alcaparrosa.

Este complejo minero de cobre se encuentra ubicado en Tierra Amarilla, en la región de Atacama, Chile, y es uno de los principales productores de cobre del país.

La mina se caracteriza por ser subterránea, utilizando el método de subniveles stoping para la extracción del mineral. Esta técnica recibe su nombre de los subniveles o galerías del yacimiento, donde se lleva a cabo la explotación minera.

El proceso de explotación subterránea requiere la construcción de varias infraestructuras clave dentro de la mina, tales como:

- Nivel de producción
- Zanjas recolectoras de mineral
- Galerías
- Chimeneas

La electricidad desempeña un papel fundamental en el método sublevel stoping. Es esencial para alimentar una serie de equipos críticos que facilitan tanto la extracción del mineral como la seguridad de los trabajadores. Entre los equipos más importantes se incluyen:

1. **Equipos de perforación:** Las perforadoras Jumbo, DTH (Down-The-Hole) y Simba son utilizadas para realizar los agujeros donde se colocan los explosivos, permitiendo una fragmentación controlada del mineral.
2. **Bombas de drenaje:** Son esenciales para controlar el agua en la mina, evitando inundaciones que puedan interrumpir las operaciones.
3. **Refugios de emergencia:** Alimentados eléctricamente, estos refugios brindan seguridad a los trabajadores en caso de emergencia.

4. **Cajas de monitoreo BRED:** Permiten supervisar en tiempo real las condiciones operativas y de seguridad dentro de la mina.
5. **Sistemas de ventilación:** Tanto la ventilación principal como la auxiliar dependen de la electricidad para asegurar un flujo adecuado de aire fresco y la extracción de gases peligrosos, como el monóxido de carbono, mejorando las condiciones laborales y la seguridad en el ambiente subterráneo.
6. **Automatización de procesos:** Los sistemas eléctricos optimizan tareas como perforación, voladura y transporte de mineral, reduciendo la intervención humana y mejorando la eficiencia global de las operaciones.
7. **Iluminación y sistemas de comunicación:** Garantizan la visibilidad en las galerías subterráneas y facilitan la comunicación entre los equipos de trabajo, lo que contribuye a la seguridad operativa.

Una parte esencial del proceso minero es la extracción del mineral de cobre, que luego es procesado en concentrados. Para ello, la operación cuenta con una flota de camiones de extracción, palas y otros equipos de apoyo, como camiones aljibes, equipos de perforación y radares que monitorean la estabilidad de los taludes y el comportamiento del macizo rocoso. La energía eléctrica es crucial para el funcionamiento de la mayoría de estos equipos.

Una vez extraído, el mineral se transporta a las plantas concentradoras, y posteriormente se envía, en camiones encapsulados, al puerto de Caldera, desde donde se distribuye a compradores locales e internacionales.

El mineral extraído es procesado en la planta PAC, que tiene una capacidad de 3.800 toneladas por día (tpd).

2.2 Importancia de la distribución eléctrica en minería subterránea

. La distribución eléctrica en minería subterránea es de vital importancia, ya que la electricidad es un recurso fundamental para el funcionamiento de los equipos y sistemas en este tipo de operaciones. No solo potencia la maquinaria utilizada en la extracción, transporte y procesamiento de minerales, sino que también contribuye significativamente a la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de las actividades mineras.

Una distribución eléctrica adecuada, especialmente en media tensión, es esencial para garantizar que todos los sistemas operativos funcionen de manera óptima, sin interrupciones, y de forma segura. La correcta distribución de energía permite la automatización de procesos, el control remoto de equipos y sistemas, y la implementación de tecnologías avanzadas que optimizan el uso de los recursos, mejorando la productividad en las operaciones mineras subterráneas.

Además, la electricidad juega un papel clave en la mejora de la seguridad al facilitar el monitoreo constante de las condiciones ambientales, como la ventilación y los niveles de gases, elementos críticos en ambientes subterráneos. Esto ayuda a crear un entorno de trabajo controlado, minimizando los riesgos para los trabajadores.

Por otro lado, la sostenibilidad también se ve favorecida por una distribución eléctrica eficiente, ya que contribuye a la reducción del consumo energético y a la adopción de prácticas más responsables con el medio ambiente. Un sistema eléctrico bien diseñado y mantenido no solo optimiza los procesos mineros, sino que también reduce el impacto ambiental de las operaciones.

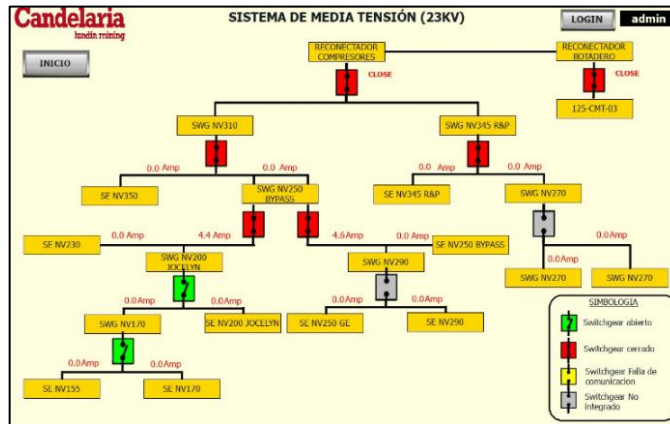
La imagen 2.1 muestra una interfaz HMI (Human-Machine Interface) utilizada para el monitoreo y control de las operaciones subterráneas en la Mina Alcaparrosa. Esta interfaz proporciona accesos directos a diversos sistemas críticos, como alarmas, gases, drenajes, ventilación, compresores, refugios, subestación y planta de agua. La interfaz centralizada permite la supervisión en tiempo real y la gestión eficiente de estos procesos, todos los cuales dependen de la electricidad para su funcionamiento. Este sistema facilita el control interior de la mina, asegurando una operación segura y eficiente de los equipos y sistemas esenciales para las actividades mineras subterráneas.

Figura N°2.1: Pantalla de monitoreo de Control en Operaciones Mina Alcaparrosa



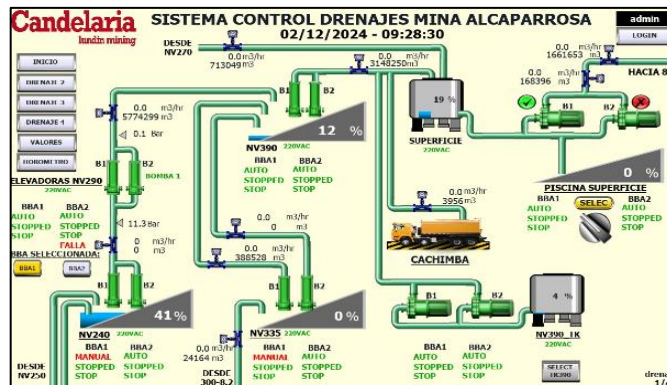
Fuente: Repositorio Lundin Mining

Figura N°2.2: Pantalla de monitoreo y control red eléctrica MT



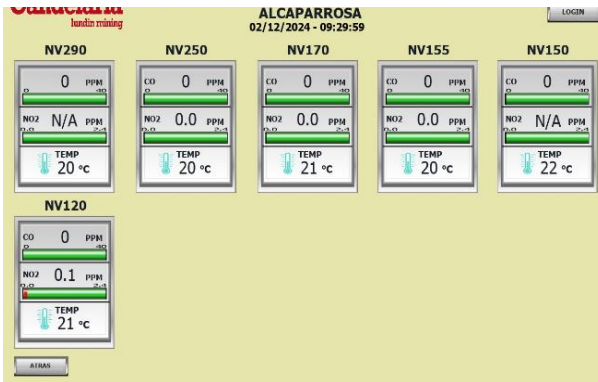
Fuente: Repositorio Lundin Mining

Figura N°2.3: Pantalla de monitoreo y control



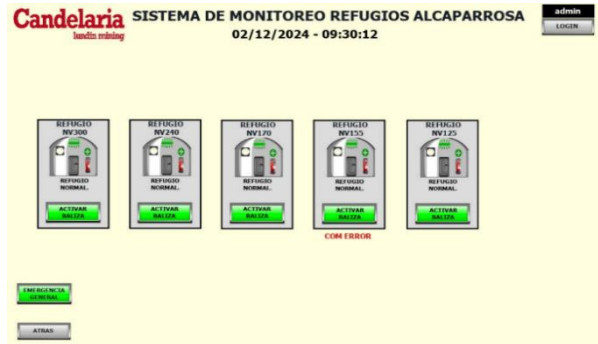
Fuente: Repositorio Lundin Mining

Figura N° 2.4: Pantalla de control y monitoreo gases interior Mina Alcaparrosa



Fuente: Repositorio Lundin Mining

Figura N° 2.5: Pantalla de control y monitoreo Refugios interior Mina Alcaparrosa.



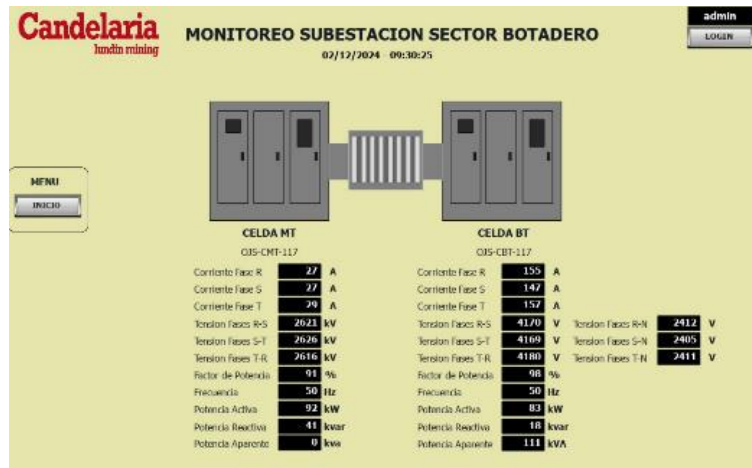
Fuente: Repositorio Lundin Mining

Figura N° 2.6: Pantalla de control y monitoreo ventiladores principales Mina Alcaparrosa



Fuente: Repositorio Lundin Mining

Figura N° 2.7: Pantalla de control y monitoreo S/E Ventilador principal Mina Alcaparrosa



Fuente: Repositorio Lundin Mining

2.3 Distribución eléctrica

La distribución eléctrica se refiere a la fase que lleva la energía a los usuarios finales que operan con tensiones intermedias, generalmente entre 1 kV y 23 kV, que son esenciales para la transmisión de energía desde las fuentes de suministro hasta los puntos de consumo dentro de la mina

Figura N° 2.8: Exigencias generales distribución eléctrica en Chile

CAPÍTULO 1

Título 1-3 EXIGENCIAS GENERALES

Artículo 1-5 Niveles de Frecuencia y Tensión en Sistemas de Distribución

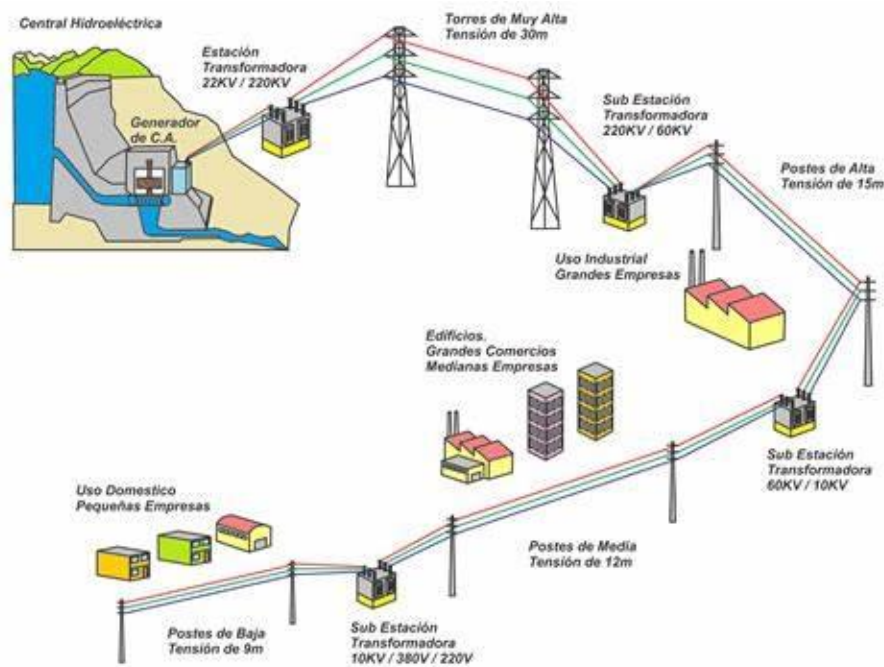
La magnitud de la frecuencia nominal en Sistemas de Distribución es de 50Hz.

Tratándose de tensiones, las magnitudes nominales deberán ser las siguientes:

1. Baja Tensión en Distribución (BT): Tensiones iguales o inferiores a 1 kV. El voltaje nominal estándar en sistemas de tres o cuatro conductores y tres fases será de 220 Volts entre fase y neutro.
2. Media Tensión en Distribución (MT): Tensiones superiores a 1 kV e inferiores o iguales a 23kV.

Fuente: Norma técnica de calidad de servicios para sistema de distribución

Figura N° 2.9: Descripción de los Sistemas de Distribución



Fuente: Archivo personal

Esta red eléctrica debe estar diseñada para manejar cargas elevadas de manera continua, ya que gran parte de la maquinaria minera, como ventiladores, bombas, compresores y sistemas de iluminación, requiere un suministro constante y estable.

Una buena distribución ofrece múltiples beneficios. Primero, mejora la eficiencia operativa, ya que la energía se transmite de manera más eficiente a largas distancias y con menores pérdidas, lo que reduce costos operativos y maximiza el rendimiento de los equipos. Además, un sistema bien dimensionado y equilibrado en media tensión puede adaptarse a las fluctuaciones de demanda, minimizando caídas de voltaje y evitando sobrecargas.

2.4 Switchgear

Los switchgear o equipos de protección eléctrica, que incluyen disyuntores, fusibles e interruptores, son dispositivos esenciales para proteger, controlar y aislar los equipos eléctricos ante posibles fallas. Su función principal radica en salvaguardar los sistemas eléctricos de daños derivados de cortocircuitos o corrientes de falla por sobrecarga, garantizando al mismo tiempo la continuidad de servicio en los circuitos no afectados y minimizando los riesgos eléctricos.

Estos dispositivos son comúnmente utilizados en los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica, desempeñando un papel crucial en la seguridad y fiabilidad de las infraestructuras eléctricas, tal como ocurre en el caso de las operaciones mineras subterráneas.

Los estándares para los switchgears eléctricos son establecidos por organismos internacionales como el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) en América del Norte y la IEC (International Electrotechnical Commission) en Europa y otras regiones del mundo, garantizando su adecuada fabricación, funcionamiento y cumplimiento de requisitos de seguridad y eficiencia.

Una función clave de los switchgears de media tensión es la protección de los sistemas eléctricos ante cortocircuitos y sobrecargas, al tiempo que permite la desconexión de los circuitos afectados, asegurando la disponibilidad de servicio para los circuitos no impactados y evitando la generación de riesgos eléctricos para el personal y equipos.

Figura N°2.10 : Imagen referencia SWG



Fuente: Página oficial Schneider

Figura N° 2.11: Beneficios de utilizar un SWG



Fuente: Página oficial Schneider

La implementación del sistema Switchgear FBX Schneider de 24 kV es una solución integral que independiza los circuitos eléctricos, permitiendo la desconexión y aislamiento de secciones específicas de la red sin interrumpir el suministro de energía a otras áreas de la mina. Este sistema está basado en un diseño modular, que ofrece flexibilidad para adaptarse a las necesidades específicas de cada instalación, y cuenta con una alta capacidad de interrupción que permite operar con seguridad en condiciones de alta carga y para detectar y aislar fallas rápidamente.

Entre las características técnicas destacadas del Switchgear FBX Schneider, se incluyen:

1. **Aislamiento de Gas (GIS):** Utiliza tecnología de aislamiento a gas (SF₆), que proporciona un sistema altamente confiable y compacto, reduciendo las dimensiones del equipo y mejorando la eficiencia del espacio.
2. **Alta Capacidad de Interruption:** El interruptor de circuito de alta capacidad permite apagar fallas de manera eficiente, incluso en sistemas que operan a niveles de corriente elevados, sin comprometer la seguridad o integridad del sistema.
3. **Protección Avanzada:** Se incorporan dispositivos de protección como relés de protección diferencial, protección contra sobrecorrientes y protección contra fallos a tierra, lo que permite una detección rápida de fallas y la desconexión automática de los circuitos afectados. Este mecanismo de protección contribuye a mantener la disponibilidad del sistema y evita daños a equipos críticos.
4. **Conectividad Remota y Monitoreo:** El sistema FBX se integra con RTUs (Unidades Terminales Remotas) y sistemas de supervisión SCADA que permiten la monitorización continua del estado de los circuitos, así como la detección remota de fallas, optimizando la gestión de las intervenciones y aumentando la capacidad de respuesta ante emergencias.

5. **Modularidad y Flexibilidad Operativa:** El diseño modular del sistema permite la expansión y adaptación del sistema eléctrico según la evolución de las necesidades operativas, incluyendo la adición de más circuitos o la instalación de equipos de protección adicionales sin comprometer la integridad de la red existente.

Beneficios Técnicos de la Implementación

1. **Reducción de Interrupciones Operativas:** Al permitir el aislamiento selectivo de las secciones de la red, el sistema Switchgear optimiza la continuidad operativa. Las áreas no afectadas por una falla pueden continuar operando sin alteraciones, lo que reduce significativamente los tiempos de inactividad.
2. **Aumento de la Fiabilidad y Robustez del Sistema:** Gracias a la independencia de los circuitos, el sistema eléctrico se vuelve más resiliente ante fallas, lo que mejora la fiabilidad del suministro y garantiza la protección continua de los equipos críticos. Esto permite una mayor disponibilidad de la infraestructura eléctrica, incluso en condiciones extremas de carga o fallas imprevistas.
3. **Eficiencia en los Mantenimientos:** Con el sistema de protección avanzada y la capacidad de aislar fallas rápidamente, los mantenimientos pueden realizarse sin necesidad de interrumpir completamente la operación de la mina. Esto optimiza la gestión de recursos, reduce los costos operativos y mejora la disponibilidad del sistema.
4. **Mejor Gestión de Emergencias:** La implementación de un sistema de monitoreo remoto y protección automática mejora la capacidad de respuesta ante incidentes. Las fallas pueden ser localizadas y aisladas de manera rápida, sin afectar a la totalidad de la operación, lo que incrementa la seguridad laboral y minimiza los riesgos para los trabajadores.

5. **Mayor Seguridad Operativa:** El diseño de protecciones independientes para cada circuito y la capacidad de realizar desconexiones rápidas mejoran la seguridad operativa, minimizando los riesgos derivados de sobrecargas, fallas a tierra y cortocircuitos. Además, los sistemas de protección están diseñados para cumplir con las normas internacionales de seguridad eléctrica, lo que garantiza un entorno seguro tanto para los trabajadores como para la infraestructura crítica.

En resumen, la implementación del Switchgear FBX Schneider de 24 kV no solo resuelve los problemas de redundancia y dependencias de subestaciones, sino que también proporciona una solución robusta y flexible que mejora significativamente la fiabilidad, seguridad y disponibilidad del sistema eléctrico en la mina subterránea, permitiendo un funcionamiento ininterrumpido de los procesos productivos y una gestión eficiente de las operaciones y el mantenimiento.

2.5 SEPM Serie 20 - Schneider Electric: Nomenclatura y Funcionalidades

El SEPM Serie 20 es un relé de protección avanzado fabricado por Schneider Electric, especialmente diseñado para sistemas eléctricos de baja y media tensión. Este equipo se emplea en una amplia gama de aplicaciones industriales, redes de distribución eléctrica, subestaciones y sistemas de energía renovable. Proporciona protección, monitoreo y control avanzados, mejorando tanto la seguridad como la eficiencia operativa de las instalaciones eléctricas.

2.5.1 Características Principales de SEPM Serie 20

1. Protección Avanzada:
 - Protección de sobrecarga (50/51): Detecta situaciones en las que la corriente excede los valores normales durante un período de tiempo determinado.

- Protección contra cortocircuito (50): Actúa rápidamente para interrumpir el flujo de corriente en casos de cortocircuitos, previniendo daños severos a equipos y reduciendo los riesgos de incendios.
- Protección diferencial (87): Detecta diferencias entre las corrientes de entrada y salida, indicando fallas en equipos o en el sistema de distribución.
- Protección fase a fase y fase a tierra (51N): Monitorea fallas de fase a fase o fase a tierra, lo que es esencial para mantener la integridad de las redes eléctricas.
- Protección de sobretensión y subtensión (27/59): Detecta fluctuaciones en el voltaje que puedan dañar los equipos eléctricos, permitiendo desconectar el sistema si es necesario.

2. Monitoreo y Diagnóstico:

- Medición de parámetros eléctricos: El SEPM Serie 20 permite monitorear corriente, voltaje, frecuencia, entre otros parámetros, brindando visibilidad en tiempo real del estado del sistema.
- Diagnóstico avanzado: Facilita la detección de posibles fallas, reduciendo tiempos de inactividad y mejorando la planificación del mantenimiento.

3. Interfaz HMI (Human-Machine Interface):

- Interfaz amigable para la programación, visualización de alarmas y configuración de los parámetros de protección.
- Protocolos de comunicación: Incluye Modbus, Profibus, Ethernet/IP, facilitando su integración con sistemas de monitoreo centralizados como SCADA.

4. Diseño Modular y Escalabilidad:

- Modularidad: Su diseño permite adaptarse a diferentes configuraciones de sistemas eléctricos, desde instalaciones pequeñas hasta grandes redes de distribución.
- Escalabilidad: La capacidad de expansión y actualización de sus módulos permite la adaptación a las necesidades de crecimiento de la infraestructura.

5. Fiabilidad y Seguridad:

- Cumple con estándares internacionales de seguridad, como IEC 60255 e IEC 61850, lo que asegura su rendimiento confiable y seguro.
- Respuesta rápida: El relé ofrece una rápida detección y actuación ante fallas, minimizando los riesgos para equipos y personal.

2.5.2 Aplicaciones Típicas del SEPM Serie 20

- Redes de distribución eléctrica: Protección y monitoreo de sistemas de distribución de energía eléctrica en industrias, plantas de procesamiento y centros de datos.
- Subestaciones eléctricas: Protección de transformadores, interruptores y otros equipos clave en las subestaciones.
- Energía renovable: En instalaciones de energía solar o eólica, protegiendo inversores y otros componentes.
- Generación de energía: Protección de generadores eléctricos en plantas de energía, evitando daños por sobrecargas o fallas eléctricas.

Ventajas del SEPM Serie 20

- Versatilidad: Adecuado para aplicaciones en baja y media tensión.
- Fiabilidad: Diagnóstico avanzado que ayuda a prevenir fallas y reduce el tiempo de inactividad del sistema.

- Conectividad: Fácil integración con sistemas SCADA y otros dispositivos inteligentes, facilitando el monitoreo remoto.
- Mantenimiento simplificado: Interfaz intuitiva para su configuración, lo que facilita la puesta en marcha y la realización de mantenimientos.
- Reducción de riesgos operativos: Protege contra sobrecargas, cortocircuitos y fallas a tierra, aumentando la seguridad en las instalaciones.

2.5.3 Nomenclatura ABSI de los Relés SEP M Serie 20

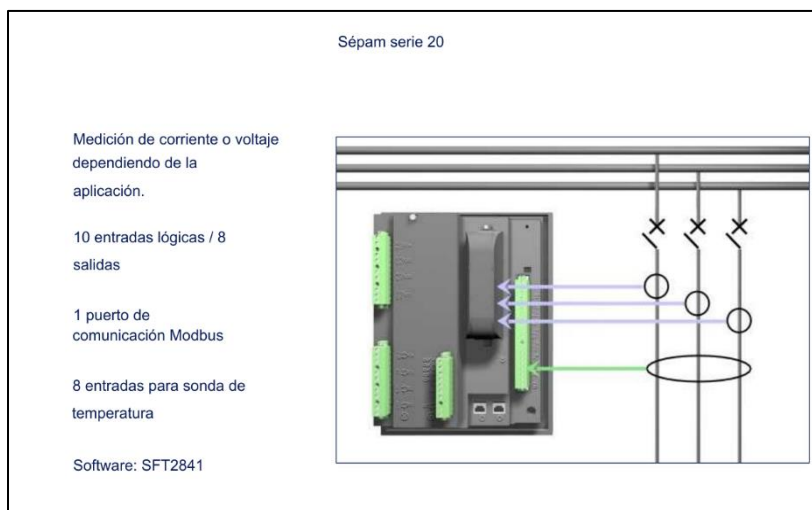
- 50: Protección de sobrecarga y cortocircuito.
- 51: Tiempo inverso de sobrecarga.
- 50N: Protección contra fallas a tierra.
- 87: Protección diferencial.
- 27: Protección contra sobretensión.
- 59: Protección contra subtensión.
- Modbus/Profibus: Protocolos de comunicación para monitoreo y control.

Figura N° 2.13: Imagen Sépam serie 20



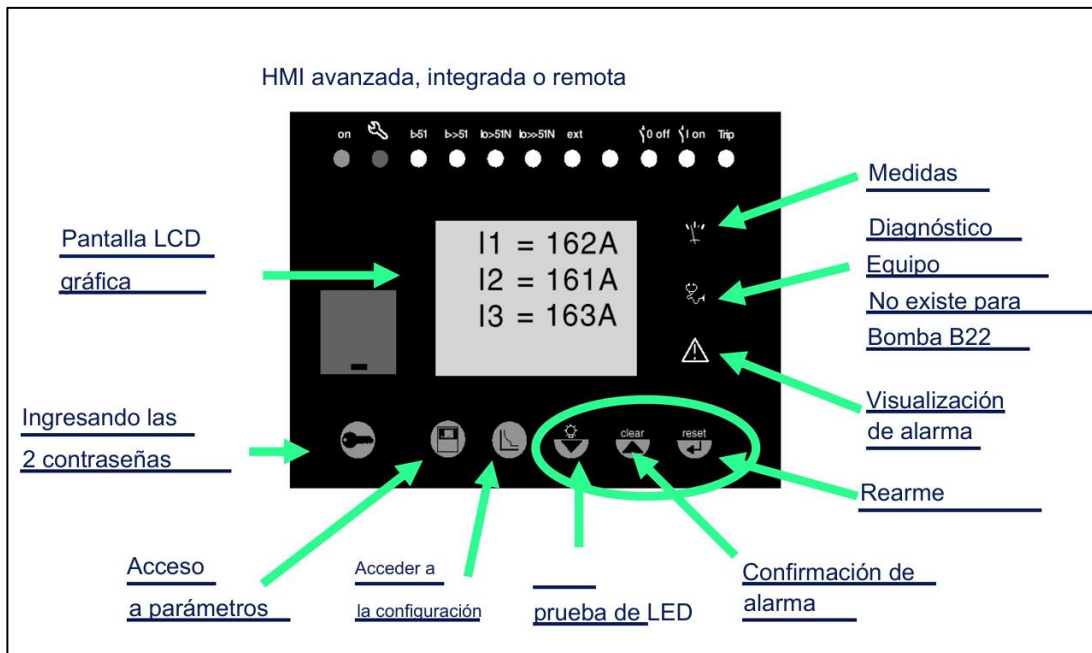
**Fuente: Manual de usuario
SEPAM S20**

Figura N° 2.14: Imagen conexión Sépam S20



**Fuente: Manual de usuario
SEPAM S20**

Figura N° 2.15: Pantalla de control y monitoreo relé S20 integrada en un SWG



Fuente: Manual de usuario SEPAM S20

2.6 SVERKER 900

Sistema de prueba de relés y subestaciones.

El sistema de prueba de relés y subestaciones SVERKER 900 es la mejor caja de herramientas del ingeniero que soluciona la creciente necesidad de poder realizar pruebas trifásicas en subestaciones de distribución eléctrica, estaciones de generación de energía renovable y aplicaciones industriales. La intuitiva interfaz de usuario se presenta en la pantalla táctil de LCD. Cuenta con una poderosa combinación de fuentes de corriente y voltaje y una versatilidad de posibilidades de medición. SVERKER 900 está diseñado específicamente para realizar en forma manual pruebas secundarias trifásicas básicas de dispositivos de protección. Además, se pueden realizar varias pruebas primarias, ya que

las fuentes de corriente y voltaje se pueden conectar en serie o en paralelo para permitir salidas de hasta 105 A CA o 900 V CA. Las tres fuentes de corriente y las cuatro de voltaje se pueden ajustar en forma individual en su amplitud, ángulo de fase y frecuencia. La cuarta fuente de voltaje permite probar relés numéricos que necesitan un voltaje de referencia que simula la barra de distribución

Figura N° 2.16: Imagen referencial equipo Sverker 900

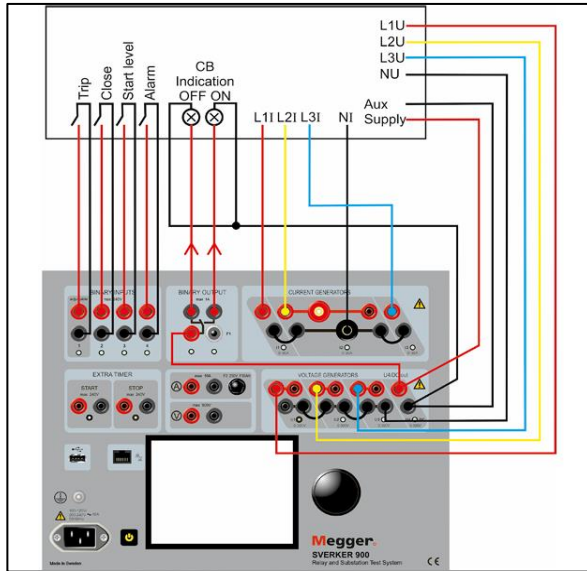


Fuente: Manual de equipo eléctrico Sverker 900

2.6.1 PRUEBA DE RELÉS DE PROTECCIÓN SVERKER 900

realiza una amplia área para la prueba secundaria manual de equipos de relés de protección. Básicamente se pueden probar todo tipo de relés de protección, monofásicos y trifásicos, desde los relés multifunción modernos a los relés electromecánicos. Puede inyectar corriente hasta 105 A cuando es necesario un alto rango y tiene un rango de frecuencia desde 10 Hz hasta 600 Hz y también se podría utilizar CC. En el “modo experto” el usuario tiene la posibilidad de agregar capas de frecuencias superpuestas. El robusto diseño de hardware está construido para uso en el campo en un amplio rango de temperatura, con software inteligente para realizar pruebas rápidas.

Figura N° 2.17: Conexión de equipo para pruebas



Fuente: Manual de equipo eléctrico Sverker 900

Figura N° 2.18: Pruebas a realizar por Sverker 900

Ejemplos de lo que SVERKER 900 puede probar	ANSI® No.
Relé de protección de distancia / baja impedancia	21
Relés de sobre flujo	24
Relés de sincronización o de prueba de sincronización	25
Relés de bajo voltaje	27
Relés de potencia direccional	32
Relés de subcorriente o baja potencia	37
Relés de pérdida de campo	40
Relés de sobrecorriente de secuencia negativa	46
Relés de voltaje de secuencia de fases	47
Relé térmico	49
Relés de sobrecorriente/ falla de tierra	50 (N)
Relés de sobrecorriente de tiempo inverso/ falla de tierra	51 (N)
Relés de factor de potencia	55
Relés de sobrevoltaje	59
Relés de balance de voltaje o corriente	60
Relés de sobrecorriente direccional/ falla de tierra	67 (N)
Protección de sobrecarga del motor	66
Relés de sobrecorriente de CC	76
Relés de medición de ángulo de fase o protección fuera de paso	78
Dispositivos de reconexión automática	79
Relés de frecuencia	81
Portadora o cable piloto	85
Relés de protección diferencial (circuitos diferenciales)	87
Relés de voltaje direccional	91
Relés de voltaje y potencia direccionales	92
Relés de disparo	94

Fuente: Manual de equipo eléctrico Sverker 900

CAPITULO III

DESCRIPCION DEL PROBLEMA CENTRAL E IMPLEMENTACION DE LA SOLUCION

3.1 Descripción de la problemática y trabajo a desarrollar

La eficiencia, la seguridad y la innovación son esenciales para mantener la competitividad, la continuidad operativa se convierte en un pilar fundamental para el éxito. En este entorno, la capacidad de mantener las operaciones funcionando de manera constante y eficiente es crucial para maximizar la rentabilidad, reducir costos operacionales y optimizar la productividad.

En este texto, se dará a conocer cómo la continuidad operativa impacta directamente en las operaciones mineras subterráneas, las estrategias para asegurar su sostenibilidad y los beneficios que conlleva.

En una mina subterránea como la que está en estudio, cualquier interrupción en los procesos, ya sea por fallas eléctricas, problemas en los sistemas de ventilación o interrupciones en la comunicación, puede resultar en una pérdida significativa de tiempo y recursos. Los sistemas de perforación, transporte, ventilación y drenaje dependen de la energía eléctrica y de la conectividad continua para operar sin contratiempos. En este contexto, la continuidad operativa se vuelve crucial no solo para garantizar la productividad, sino también para asegurar la seguridad de los trabajadores y el cumplimiento de los compromisos de producción. A continuación, se verá la problemática y mejora de.

Dentro de la descripción el sistema de distribución mencionado en el punto 3.2.1, si bien es cierto, se puede apreciar una distribución eléctrica de manera normal generando una estabilidad en el sistema, se aprecia una deficiencia en la distribución eléctrica, si bien es cierto cumple la función, pero al momento de hablar de eficiencia y continuidad

operacional, esta distribución se ve deficiente debido a una mala distribución, esto debido a optimización de dinero.

La energía eléctrica en mina Alcaparrosa, es fundamental para garantizar la continuidad operativa y la seguridad. Sin embargo, un aspecto crítico que se observa en este tipo de sistemas es que cuando ocurre una falla o se realiza una mantención en cualquiera de los circuitos de las subestaciones, ambas subestaciones se ven afectadas. Esto tiene consecuencias directas en:

1. Producción:

Al detenerse el suministro eléctrico en los equipos críticos, como bombas, ventiladores auxiliares y jumbos, se interrumpen procesos esenciales como drenajes, perforaciones o ventilación. Esto puede paralizar actividades mineras, generando pérdidas económicas significativas debido al tiempo de inactividad.

2. Seguridad de los Trabajadores:

Equipos como los ventiladores principales y auxiliares, cajas de monitoreos de caserones, refugios, iluminación chimeneas de evacuación, son esenciales para mantener condiciones seguras en túneles y zonas subterráneas, Al dejar de operar, esto aumentaría los riesgos relacionados con acumulación de gases, falta de oxígeno o inundaciones por fallas en sistemas de drenaje, entre otros.

Implicaciones Técnicas y Operativas:

La interdependencia entre las subestaciones requiere de un diseño eléctrico robusto, con capacidad para suplir la demanda en caso de fallos o mantenciones, ya sea mediante redundancia de circuitos o sistemas de respaldo.

La integración de estrategias de mitigación de riesgos, como equipos de respaldo (generadores) o la redistribución de cargas en circuitos alternativos, es esencial para evitar que este tipo de eventos afecte tanto la producción como la seguridad.

3.2 Planteamiento de la Solución

Es por esto que se presenta una solución técnica avanzada para resolver los problemas identificados en la infraestructura de distribución eléctrica de mina Alcaparroa. El sistema eléctrico actual presenta deficiencias críticas, destacándose la falta de redundancia y la alta dependencia entre subestaciones, lo cual compromete la estabilidad operativa de la mina. En caso de fallas o intervenciones programadas en los circuitos, la ausencia de aislamiento entre secciones provoca un efecto dominó que afecta múltiples áreas de la operación, generando paradas operativas prolongadas y tiempos de inactividad elevados durante los mantenimientos. Este planteamiento propone la implementación de un sistema Switchgear (SWG) de media tensión, con una clasificación de 24 kV, con el objetivo de garantizar la continuidad operativa y mejorar la fiabilidad del suministro eléctrico en el entorno subterráneo minero.

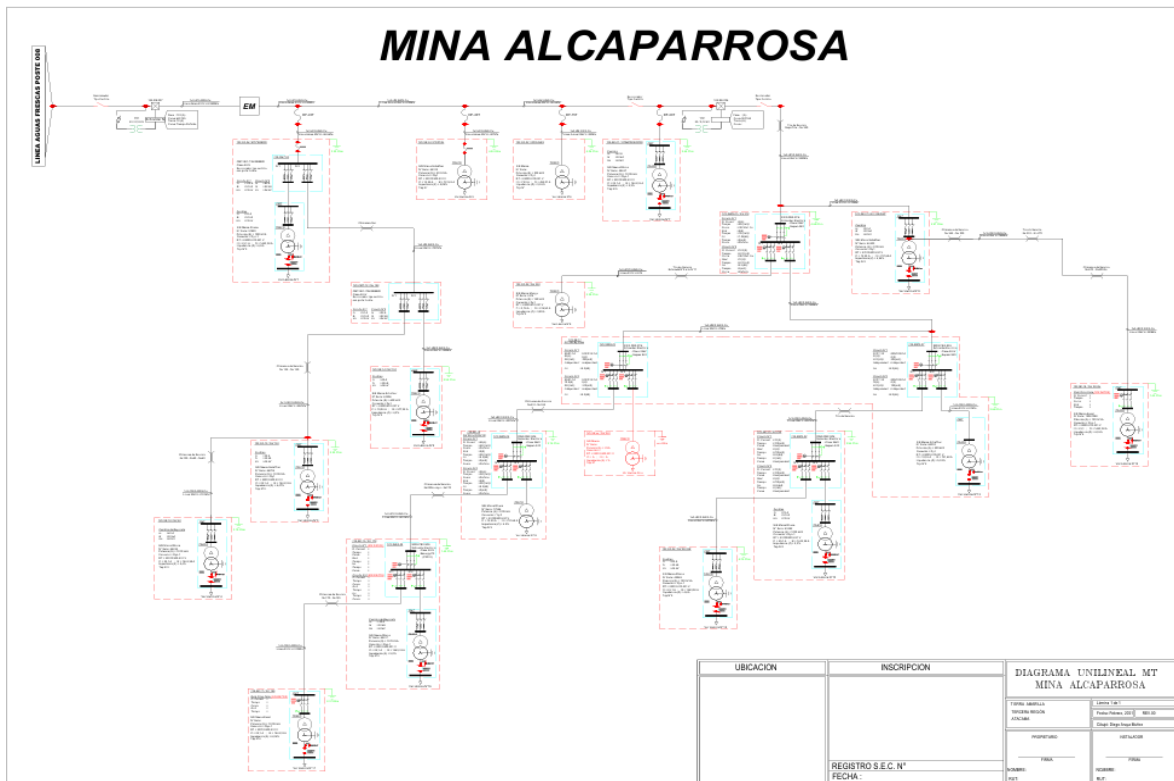
3.3 Evaluación del Diseño Actual

Antes de proceder con la instalación del SWG, se llevará a cabo una revisión del diseño de la distribución eléctrica actual en mina. Esto incluirá la identificación de áreas críticas y los puntos de falla recurrentes en la red de distribución. Dicho análisis permitirá determinar de manera precisa la ubicación óptima y la integración adecuada de los Switchgears Schneider. La ubicación estratégica de estos equipos será esencial para facilitar la desconexión y aislamiento de partes específicas del sistema sin afectar la totalidad de la operación.

Además, se tendrá en cuenta la capacidad de carga de cada circuito y las características de los equipos conectados a los mismos, para asegurar que el Switchgear seleccionado sea adecuado para las condiciones operativas específicas de la mina. Esto garantizará que cada componente del sistema funcione dentro de los márgenes de seguridad establecidos, sin comprometer su eficiencia o vida útil. (tomar como referencia imágenes N° 6 y7)

3.3.1 Distribución eléctrica de la Mina Alcaparrosa.

Figura N°3.1: Plano eléctrico Mina Alcaparrosa



Fuente: Repositorio Lundin Mining

El sistema eléctrico que alimenta los equipos de mina Alcaparrosa y asegura su operación, se abastece de una alimentación primaria proveniente de la línea denominada Aguas Frescas. Esta línea transporta la energía mediante una línea aérea de 23 kV, utilizando conductores de cobre con sección de 2 AWG. Tres conductores de iguales características son los encargados de distribuir la energía a los puntos correspondientes.

Actualmente, como se observa en la imagen N°5, se puede apreciar que desde la Subestación eléctrica ubicada en Nv 345 RyP, se despliega un cableado debajo de la celda de media tensión y en paralelo, el cual alimenta dos cargas. Una de estas cargas corresponde a la S/E Nv 200 Gs y la otra a la S/E 345 RyP. Es importante destacar que, en caso de una falla en alguna de las subestaciones o durante una operación de mantenimiento, la energía se verá comprometida, afectando así la operatividad de varios sectores. Esto pone de manifiesto la importancia de contar con sistemas redundantes y planes de contingencia que minimicen el impacto en la continuidad del suministro eléctrico y aseguren la estabilidad operativa.

3.4 El proceso de implementación de mejora.

Planificación y Preparación: Se realiza evaluación preliminar del sistema considerando cargas significativas esto para una mejor planificación de la instalación, asegurando que se cuenten con el espacio adecuado y la infraestructura necesaria para la integración del Switchgear.

3.4.1 Cuadro de carga de circuitos

Figura N° 3.3: Subestaciones eléctricas con su capacidad utilizada

Resumen Cuadros de Carga y Disponibilidad en Subestaciones								
Descripción			Potencia Nominal			Disponibilidad		
CUADRO - CIRCUITO	TAG SE	Nivel	Potencia	Potencia	Potencia	% Uso	Potencia	
			Subestación (kVA)	F.P.	Subestación (kW)			según CC
CUADROS DE CARGAS MA-UG - CIRCUITO POLVORÍN						(kW)	(%)	(kW)
	125-SE-07	345 R y P	500	0,92	460	437	95,0%	23
	125-SE-16	200 Gs	1000	0,92	920	638,25	69,4%	281,75

Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica JMT

Figura N° 3.4: Cargas asociadas a subestaciones eléctricas

TAG Subestación	NIVEL SUBESTACIÓN	NIVEL AFECTADO	SERVICIO	UBICACIÓN	SUMA POTENCIAS (kW)
125-SE-16	200 Gs	Nv 220	Bomba	Estocada drenaje N°1	20,00 kw
		Nv 220	Bomba	Estocada drenaje N°2	20,00 kw
		Nv 220	Bomba	Estocada drenaje N°3	20,00 kw
		Nv 220	1 ventilador Aux	Helena 55	75,00 kw
		Nv 220	Jumbo	Frente de perforación	130,00 kw
		Nv 220	Jumbo	Frente de perforación	130,00 kw
		Nv 230	Bomba	Estocada drenaje N°1	20,00 kw
		Nv 230	1 Ventilador Aux	1 ventilador Aux	93,25 kw
		Nv 230	DTH	Perforación	130,00 kw
125-SE-07	345 RyP	Nv 345	Bomba	Helena 55	37 KW
		Nv 345	Ventilador principal	Vent principal Nv 345	400,00

Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica JMT

La imagen N°3.3, muestra un análisis de carga y disponibilidad de circuitos eléctricos en subestaciones. Algunos puntos clave eléctricamente que se pueden apreciar son:

1. Capacidad y Uso de las Subestaciones:

En el primer cuadro de la imagen N° 3.3, se evalúa la carga de las subestaciones (como 125-SE-07 y 125-SE-16). Una subestación presenta un 95% de uso, lo que indica que está casi al límite de su capacidad, mientras que la otra tiene un uso del 69.4%, aún con margen para más carga. Este tipo de análisis es esencial para evitar sobrecargas y garantizar la continuidad del suministro eléctrico.

2. Disponibilidad de Energía:

La potencia disponible en las subestaciones (23 kW para 125-SE-07 y 281.75 kW para 125-SE-16) es fundamental para planificar el aumento de cargas futuras o el suministro en situaciones de emergencia.

3. Distribución por Servicios Críticos:

En la imagen N° 3.4, se detallan los servicios y las potencias utilizadas, como bombas, ventiladores auxiliares y equipos de perforación. Estos sistemas son cruciales para operaciones específicas (como drenaje y ventilación en minería), mostrando que la energía eléctrica no solo impulsa la operación, sino que también protege la seguridad de los trabajadores.

4. Dependencia Operacional:

Equipos como bombas y ventiladores son esenciales para la extracción y seguridad, como el ventilador principal de 400 kW en el nivel 345. Una falla en el suministro eléctrico afectaría directamente la producción y la seguridad en estas áreas.

3.5 Especificación Técnica equipo SWITCHGEAR para instalación en interior mina.

La selección de equipo a instalar es fundamental para el proceso y su continuidad operacional, es por eso que Mina Alcaparrosa, donde se implementara la mejora de instalación de Switchgear, para el desarrollo de su proyecto minero necesita adquirir celdas de media tensión en configuración Metal enclosed Switchgear (ver imagen N°8) con 1 entrada, 3 salidas y Transformador de Control (TC) para uso en subestaciones en interior mina.

3.5.1 Condiciones de servicio:

Frecuencia: 50 Hz.

Tensión Nominal: 23kV / 6,9kV / 4,16 kV.

Nivel de Cortocircuito: 20 kA.

3.5.2 Normativas y cumplimiento:

El equipo switchgear para cada nivel de tensión debe cumplir con las normativas locales y los estándares de seguridad aplicables a minas

subterráneas. Se sugiere guiarse por alguna de las siguientes normas.

IEC 62271-200: High-voltage switchgear and controlgear - Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 Kv.

IEEE Std C37.20.3: Standard for metal-enclosed interrupter switchgear.

- Interruptor y Seccionadores.

IEC 62271-1: Common specifications for high-voltage switchgear and control gear standards.

IEC 62271-100: High-voltage alternating-current circuit-breakers.

IEC-62271-102: High voltage alternating current disconnectors and earthing switches.

IEC-62271- 108: High-voltage alternating current disconnecting circuit-breakers for rated voltajes of 72,5 kV and above.

IEC-60947: Low-voltage switchgear and controlgear.

IEC 60376: Specification of technical grade sulfur hexafluoride (SF6) for use in electrical equipment.

IEC 60480 Guidelines for the checking and treatment of sulfur hexafluoride (SF6) taken from electrical equipment for its re-use.

- Transformadores de medida y protección.

IEC 60044 - 1: Instrument transformers - Part 1: Current transformers.

IEC 60044 - 2: Instrument transformers - Part 2: Inductive voltage transformers.

IEC 60044 - 5: Instrument transformers - Part 5: Capacitor voltage transformers.

- Protección contra Incendios

-RPTD N° 08 Protección contra incendios en las instalaciones de consumo de energía eléctrica.

-RIC N° 08 Sistemas de emergencia instalaciones de consumo de energía eléctrica.

3.5.3 Normas Sísmicas.

Norma Chilena NCh 2369.Of2017: Este documento presenta un anteproyecto de norma chilena (NCh 2369) sobre el diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales.

3.5.4 Condiciones ambientales:

El equipo estará instalado en una estocada de mina subterránea diseñada para recinto eléctrico, el equipo estará bajo los efectos de contaminación permanente de polvo fino en suspensión y en el sector pueden existir rociado de agua que cae en ángulo de hasta 60°. Las condiciones ambientales típicas son las siguientes:

Figura N° 3.5: Celdas Metal - Enclosed (GIS/AIS)
Celdas Metal-Enclosed
 Normatividad IEC 62271-200



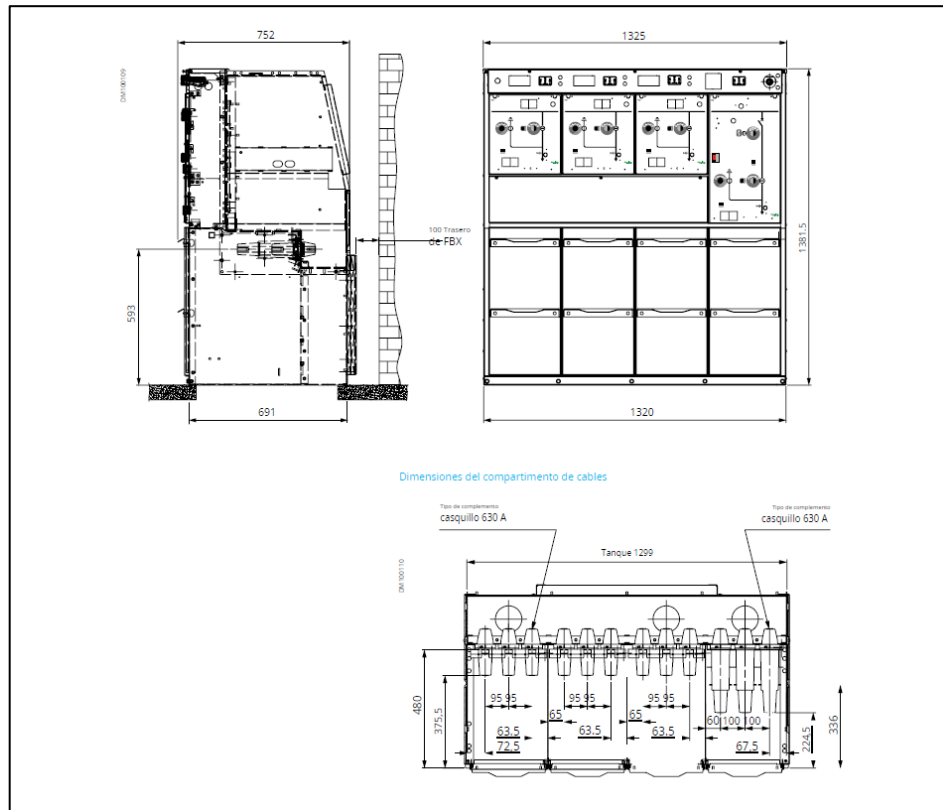
Fuente: Archivo personal

3.5.5 Instalación

1. Se procederá con la instalación física del Switchgear, siguiendo los procedimientos establecidos de seguridad y calidad para garantizar que los equipos estén correctamente instalados y operativos.

Se verifica dimensiones en fichas técnicas del fabricante.

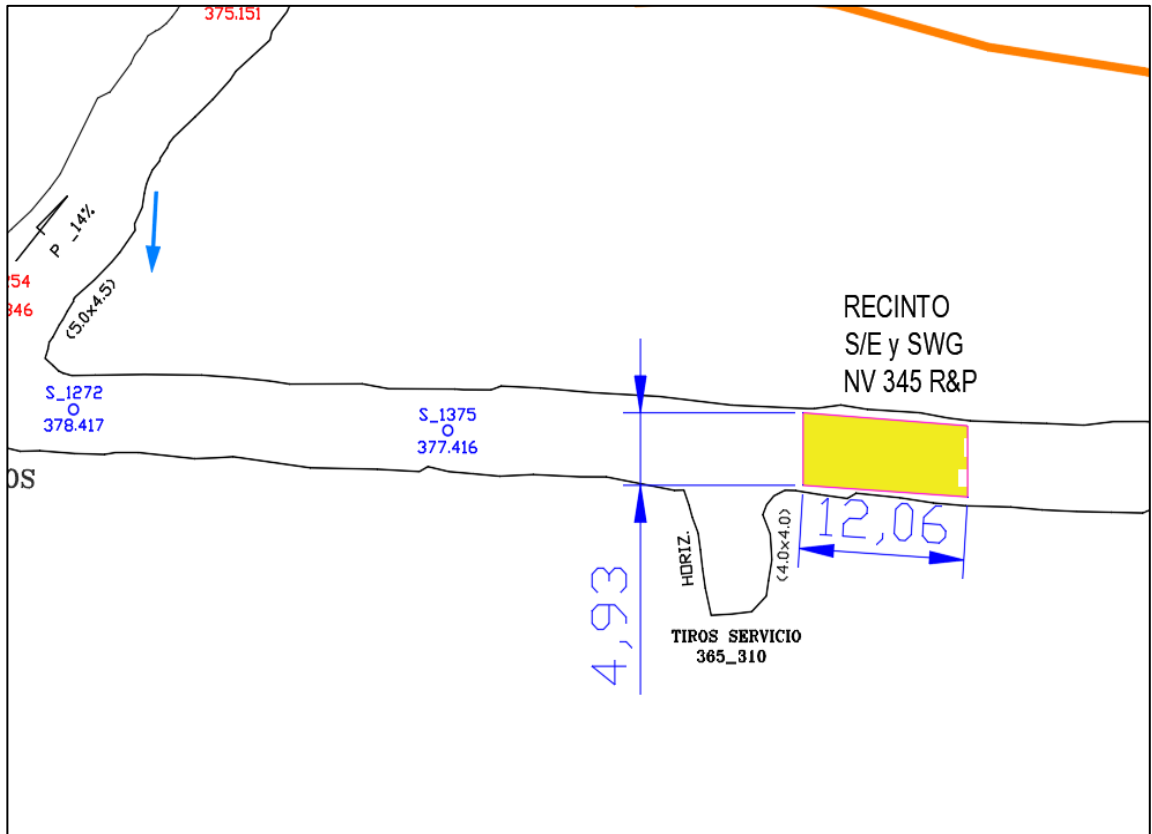
Figura N° 3.6: Dimensiones de un SWG



Fuente: Manual de usuario SWG FBX Schneider

Se verifica en terreno dimensiones del sector donde se instalará el SWG
La verificación en terreno de las dimensiones del sector donde se instalará el Switchgear (SWG) es una etapa crucial, especialmente cuando la instalación se realiza en un entorno tan complejo como una mina subterránea.

Figura N° 3.7: Ubicación real donde se instalará SWG



Fuente: Repositorio Lundin Mining

3.5.6 Embalaje y transporte

Para el traslado y posicionamiento del SWG FBX, se deben considerar diversos factores técnicos, logísticos y de seguridad para garantizar que la operación sea realizada de manera eficiente y segura. A continuación, se detallan los puntos clave que deben tenerse en cuenta:

Verificación de especificaciones: Antes del traslado, asegúrate de que se haya revisado la documentación técnica del SWG FBX para conocer sus dimensiones, peso y otros detalles importantes como el tipo de almacenamiento, transporte y los accesorios necesarios.

Ruta de traslado: Establecer y verificar la ruta de transporte, asegurando que esté libre de obstáculos y que el vehículo de carga pueda acceder sin problemas al sitio de instalación.

Figura N° 3.8: Placa técnica del SWG

DM10597

Schneider Electric

Inspección **744** Año 2017

De serie
Número *DG-2017-W40-1-0041*

Número de orden **S000106568** Servicio

Identificación del cliente **3500990930**

Posición **011XX** Diagrama

Tipo **FBX-C/12-20/CC-T1**

IEC 62271-200	Instrucción	
Tu 12 kV	Ir 630 A	de 50 Hz
Hasta 75 kV	Ik 21 kA	tk 1 s
Ud 28 kV	IAC sin	sistema de presión sellado
Antes de 0,04 Mpa	Pae 0,02 Mpa	Según IEC 62271-1
SW 2,75 kilogramos	Pme 0,02 Mpa	CO2e 62.244 t
Función C	Función T1	
IEC 62271-103	IEC 62271-105	
Ir 630 A	Preferencia W	
Ik 21kA 1s	Selección de rejilla de fusibles acc. 3'	
Clase E3 - M1 - C1	Tipo medio	
		Peso máximo de la unidad (kg)
		330
IEC 62271-102	IEC 62271-102	
Ik 21kA 1s	Ik 21 kA/1 s	
Clase E2	Clase E2	

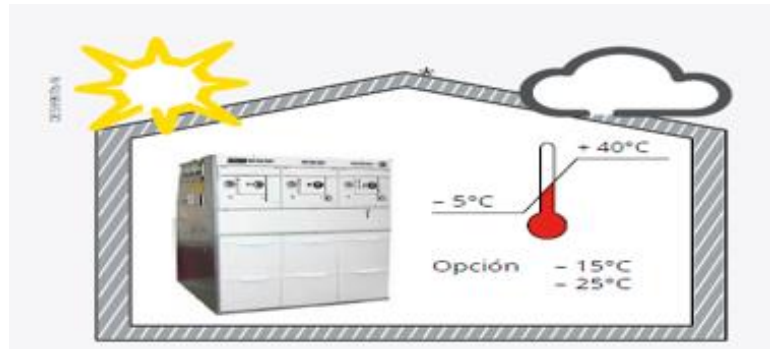
* AMT005470/10656801 *

AMT de Mâcon, Francia AMT0114501-01

Placa de identificación FBX (en la cara frontal del cubículo)

Fuente: Manual de usuario SWG FBX Schneider

Figura N°3.9: Datos necesarios para almacenamiento de SWG



Fuente: Manual de usuario SWG FBX Schneider

- El FBX debe envasarse en función de los requisitos para el periodo de almacenamiento previsto. El FBX debe conservarse intacto en su embalaje de origen
- El lugar de almacenamiento no debe tener cambios bruscos de temperatura.

Figura N° 3.10: Imagen SWG, cargado con equipo de levante



Fuente: Archivo personal

1. Preparación y Planificación

Equipos necesarios:

Asegúrate de contar con los equipos de levantamiento adecuados, como grúas, elevadores y herramientas de manipulación que sean capaces de soportar el peso y las dimensiones de la carga.

Ruta de traslado: Establecer y verificar la ruta de transporte, asegurando que esté libre de obstáculos y que el vehículo de carga pueda acceder sin problemas al sitio de instalación.

2. Medidas de Seguridad

- **Equipos de protección personal (EPP):** Todos los trabajadores involucrados en el traslado deben usar el equipo de protección adecuado, como cascos, guantes, botas de seguridad, arneses y gafas de protección.
- **Coordinación de equipos:** Asegúrate de que los operadores de grúas, vehículos y otros equipos estén coordinados para evitar accidentes y para una manipulación eficiente de la carga.
- **Estabilidad de la carga:** Durante el traslado y posicionamiento, es fundamental asegurar que la carga esté bien asegurada y que no haya riesgo de desbalanceo o caídas.

Transporte

- **Vehículo adecuado:** El vehículo de transporte debe estar diseñado para el peso y dimensiones del SWG FBX. Esto puede incluir el uso de plataformas elevadoras, camiones de carga pesada o remolques especiales.
- **Aseguramiento de la carga:** Durante el traslado, asegúrate de que la carga esté debidamente asegurada con correas, cadenas o cables, para evitar cualquier movimiento que pueda dañar el equipo o causar accidentes.

Figura N° 3.11: SWG cargado en camión 3/4



Fuente: Archivo personal

5. Posicionamiento Final

- **Maniobras de colocación:** Al llegar al sitio de instalación, se debe proceder a las maniobras de posicionamiento con grúas o manipuladores, tomando en cuenta las cargas máximas permitidas en los equipos de izaje y las condiciones del terreno.
- **Alineación y nivelación:** Una vez en su posición, el SWG FBX debe ser alineado y nivelado correctamente para asegurar un funcionamiento adecuado. Esto también incluye verificar que los puntos de conexión eléctrica estén en la posición correcta para su posterior instalación y puesta en servicio.
- **Revisión de conexiones y soportes:** Verifica que todos los puntos de soporte y conexiones estén correctos y listos para la conexión de cables de potencia, tierra y control, según el diseño y la normativa.
-

6. Verificación Final

- **Inspección visual:** Una vez que el SWG FBX esté instalado y posicionado, realiza una inspección visual para asegurarte de que no haya daños durante el traslado y

que todos los componentes estén en su lugar.

- **Pruebas de funcionalidad:** Realiza pruebas de funcionamiento de los dispositivos de protección y control para verificar que el equipo esté operando de acuerdo a las especificaciones.

Figura N°3.12: Imagen recinto de S/E y SWG interior Mina Alcaparrosa



Fuente: Archivo personal

Resumen:

- **Planificación previa:** Conocer las especificaciones, ruta y equipos necesarios.
- **Seguridad:** Uso de EPP y coordinación entre equipos.
- **Condiciones del sitio:** Verificación del acceso, terreno y soportes adecuados.
- **Transporte y traslado:** Vehículo adecuado y aseguramiento de la carga.
- **Posicionamiento:** Alineación, nivelación y conexión correcta.
- **Inspección final:** Revisión visual y pruebas de funcionamiento.

Tener en cuenta estos aspectos garantizará que el traslado y posicionamiento del SWG FBX se realice de manera segura, eficiente y conforme a los estándares establecidos

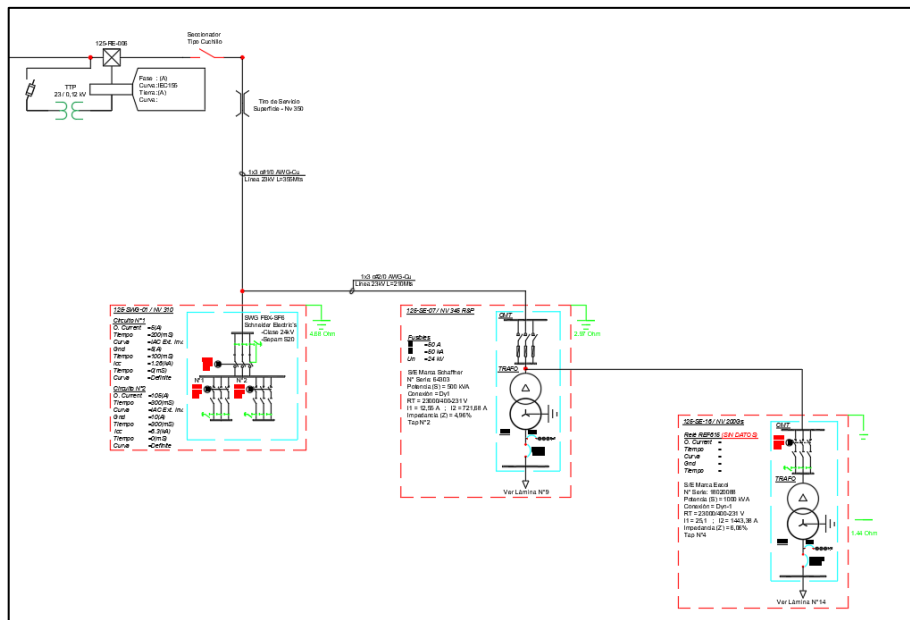
CAPITULO IV

MEMORIAS DE CALCULO Y RESULTADOS

4.1Empalme, nivel de tensión y frecuencia

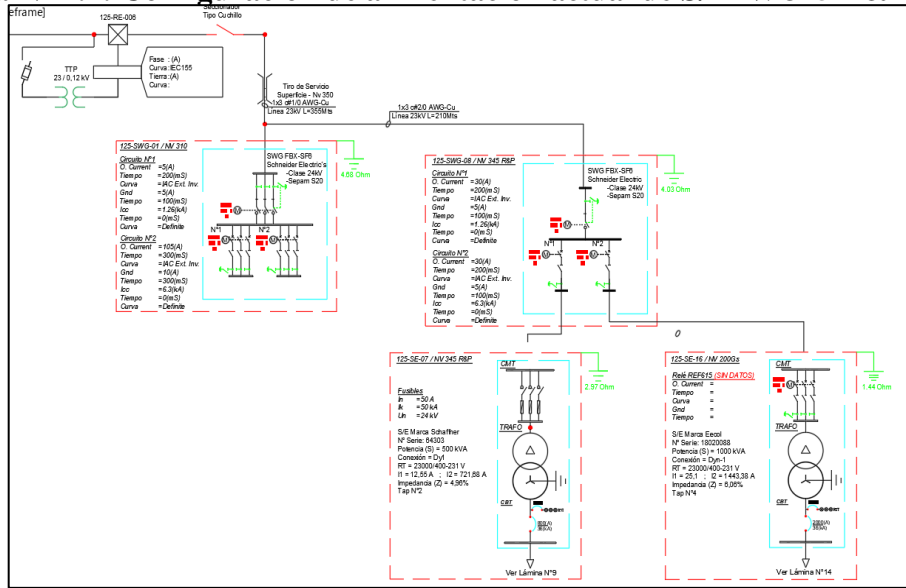
La alimentación principal en MT hacia el nuevo SWG a instalar en Nv 345 R&P quedara seccionadas aguas arriba por reconectador RE ubicado en superficie (conexión en paralelo // a SWG principal Nv 310). La tensión de alimentación actual a S/E Nv 345 R&P sera en 23KV a 50 Hz.

Figura N° 4.1: Configuración de alimentación actual de S/E Nv 345 R&P -200Gs



Fuente: Repositorio Lundin Mining

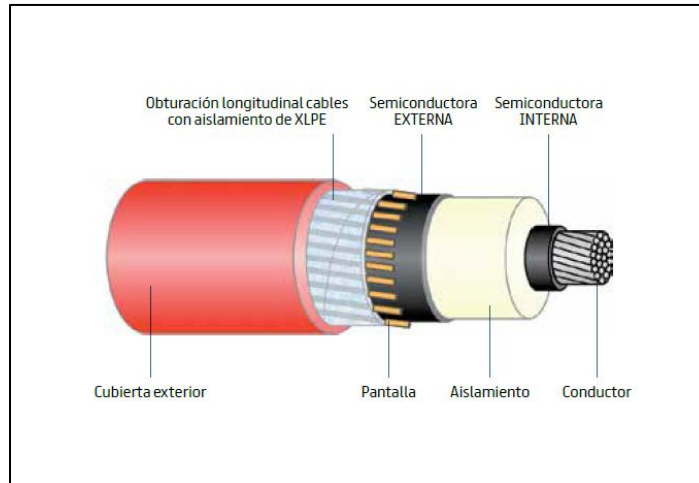
Figura N° 4.2: Configuración de alimentación actual de S/E Nv 345 R&P -200Gs



Fuente: Repositorio Lundin Mining

El alimentador actual es un cable de MT 3x2/0+3x6 AWG, clase 25 kv, 133%IL con armadura fleje de acero chaqueta de color rojo pantalla de hilo de cobre, cinta semiconductora no extruida libre de alógeno

Figura N° 4.3: Imagen referencial cable MT 25 KV



Fuente: Archivo persona

El conexionado de terminación en SWG, será a través de mufas de terminación tipo codo. Modelo RSTI-58/68 – 24/42 kV.

Figura N° 4.4: Imagen referencial mufa de terminación tipo codo RSTI-58/68 – 24/42 kV.

Figura N° 4.4: Mufas de terminación 23kV tipo Codo



Fuente: Manual de usuario mufa Modelo RSTI-58/68 – 24/42 kV.

El conexionado de terminación en S/E Nv 345, será a través de terminales tipo ojo

Figura N° 4.5: Imagen referencial de mufa de terminación tipo ojo.

Figura N°4.5: Mufa de terminación en MT



Fuente: Archivo personal

4.2 Desarrollo de cálculos y set de protecciones

4.2.1 Alimentador en MT

Para un sistema de distribución trifásico, la definición de la intensidad de corriente por el lado primario del transformador, se determina mediante la siguiente expresión:

Corriente nominal subestación (1000Kva – 23kV)

Ecuación N° 4.1

$$I1(A) = \frac{S (KVA)}{\sqrt{3} * VL(KV)} = \frac{1000}{1.73 * 25} = 25.1(A)$$

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Tabla de conductores en MT

La sección seleccionada es de 67.4mm² (2/0 AWG), clase 23kV, 133%IL capacidad de corriente 246(A). Sección única proporcionada por LMC.

Tabla N° 4.1: Conductores eléctricos MT

Calibre Conductor	Calibre del conductor de tierra	Diámetro total aprox.	Peso total Aprox. Con armadura de aluminio	Peso total Aprox. Con armadura de acero	Resistencia máx. a 20°C CC	Radio de curvatura min.	Capacidad de corriente (I)
AWG/Kcmil	AWG	mm	Kg/km	Kg/km	Ω/KM	mm	A
1	6	74.7	5.490	7.210	0.423	523	187
1/0	6	77.7	6.120	7.930	0.335	544	215
2/0	6	80.0	6.680	8.540	0.266	560	246
3/0	4	84.6	7.840	9.820	0.211	592	283
4/0	4	87.4	8.700	10.740	0.167	612	325
250	4	90.9	9.590	11.720	0.141	636	359
350	3	98.6	11.490	13.770	0.101	690	438

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Protección en MT

Para determinar el set de los relés de protección del SWG (SEPAM S20), se considerara la corriente total de la sumatoria de las corrientes nominales de las subestaciones involucradas por tramo, procurando resguardar en todo momento nuestro alimentador

SWG 345 R&P

Circuito N° 1: Alimentación S/E Nv 345 R&P.

Este circuito solamente involucra una S/E ubicada en el Nv 345 R&P (500 Kva).

Ecuación N° 4.2

$$I1(A) = \frac{S (KVA)}{\sqrt{3} * VL(KV)} = \frac{500}{1.73 * 23} = 12.55(A)$$

Fuente: Elaboración propia

Para el circuito antes descrito, se estima una protección conservadora ajustada a la corriente nominal de la S/E involucrada.

El ajuste propuesto es de 12.5 - 15 (A).

Circuito N°2: Alimentación S/E involucrada 200 Gs.

Este circuito solamente involucra una S/E ubicada en el nivel 200 Gs (1000 Kva)

$$I1(A) = \frac{S (KVA)}{\sqrt{3} * VL(KV)} = \frac{1000}{1.73 * 23} = 25.1(A) \quad \text{(Ecuación. N° 4.3)}$$

Fuente: Elaboración propia

Para el circuito antes descrito, se estima una protección conservadora ajustada a la corriente nominal de la S/E involucrada.

El ajuste propuesto es de 25-30 (A).

4.3 Puesta a Tierra (Malla)

Tabla N° 4.4: Medición malla a tierra en recinto eléctrico donde se instalará el SWG

MEDICION DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA										
N° Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ec a 32 m Et a 18 m	30.6	27.2	23.8	20.4	17	13.6	10.2	6.8	3.4	2
R en OHM	5.7	5.04	4.48	4.62	4.03	3.91	3.8	3.76	3.76	3.71

Fuente: Elaboración propia

La tabla N°4.4 representa un análisis detallado de la medición de resistencia de puesta a tierra, un procedimiento clave en sistemas eléctricos para garantizar la seguridad de personas y equipos ante descargas eléctricas.

Instrumento utilizado: Telurómetro digital AEMC 6471, diseñado para medir resistencias de puesta a tierra con alta precisión.

Método: Tensión-corriente, consistente en medir la relación entre la tensión aplicada y la corriente generada.

Análisis de resultado:

En la N° 4.4 presentada, los valores de resistencia (R en OHM) varían ligeramente en función de la distancia.

El valor 4.03 ohmios corresponde al punto donde la resistencia es más estable (aproximadamente en el centro del rango de medición, a 23.8 m). Esto sugiere que este valor es seleccionado como el promedio.

1. Estabilidad de la curva: Si se analiza los datos obtenidos en un gráfico de resistencia vs distancia, se observa que a partir de los 23.8 m, los valores tienden a estabilizarse, indicando una menor influencia de interferencias del terreno.

2. Promedio estadístico: Si se considera el promedio de los valores intermedios, este se acerca a 4.03 ohmios, que representa una medida confiable para el sistema.

3. Justificación del valor seleccionado

En mediciones de resistencia de puesta a tierra, se recomienda usar los valores más estables y alejados de interferencias externas (como el ruido eléctrico y la no linealidad del terreno cerca del punto cero). Por ello:

El valor de 4.03 ohmios es representativo del comportamiento promedio del sistema en condiciones reales.

4.3.1. Resultado final

El valor final de resistencia medido es 4.03 ohmios, un valor dentro de los límites aceptables según las normativas eléctricas chilena (internacionales (como la IEEE 80 o IEC 60364). Esto indica que el sistema de puesta a tierra cumple con los requisitos de seguridad, permitiendo una correcta disipación de corrientes de falla o descargas atmosféricas.

Nota: Según pliego técnico normativo Ric N°6 nos dice: Las puestas a tierra de servicios deben ser diseñadas de forma que aseguren el funcionamiento correcto de los equipos y de la instalación. El diseño deberá garantizar que en el caso de circulación de una corriente de falla permanente, la tensión en cualquier conductor activo con respecto a tierra no sobrepase los 250v y el valor resultante de la puesta a tierra de servicio no debe superar los 20 Ohm.

REVISIÓN DE CALIBRACIÓN DE RELÉS DE PROTECCIONES

SWG 345 R&P M.A. CTO#1 Y CTO#2

SEPAM S20 / SN 17362637-17332556

4.4.1 Pruebas revisión de Calibración a Toroides y Relé

Previo a la puesta en servicio del Switchgear SWG- Nv 345 R&P, se realizaron pruebas de revisión de calibración a los toroides y relé que se utilizarán en el sistema.

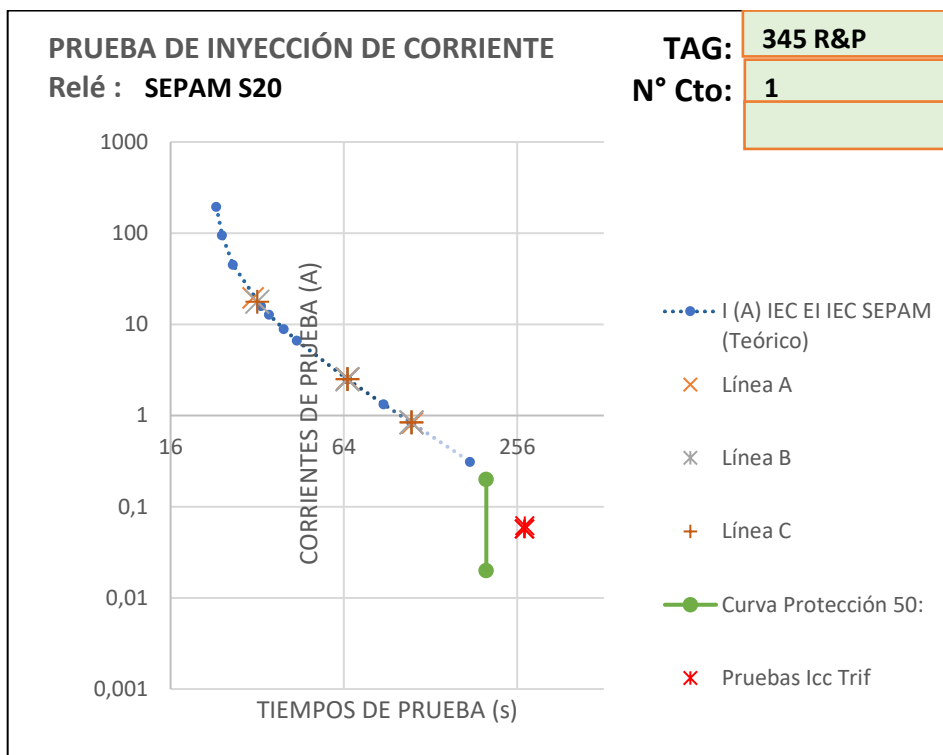
Las pruebas mostraron errores que se ajustaron a la curva de prueba, por lo que no se presentaron observaciones que sugirieran restringir su utilización. Además, se llevaron a cabo pruebas de operación de los relés de protección del Switchgear SWG-010, mediante una inyección de corrientes, tomando como referencia de comparación la curva modelada según los datos aportados por el fabricante, utilizando una curva estándar IEC extremadamente inversa.

Para la realización de las pruebas, se utilizaron los siguientes equipos:

1. Relé de protección Sepam S20 CTO 1 (Serie: 17362637).
2. Relé de protección Sepam S20 CTO 2 (Serie: 17332556).
3. Dos toroides con relación 50/1 (para circuito de protección residual).
4. Equipo de inyección de corrientes: Sverker 900.

El modelo y los ajustes fueron verificados según los parámetros definidos por el fabricante, asegurando que los dispositivos de protección operaran correctamente dentro de los valores especificados. Tras realizar estas pruebas y ajustes, se confirmó que los sistemas cumplen con las normativas y están listos para ser puestos en servicio sin restricciones.

Tabla N° 4.4: Prueba de inyección de corriente relé S20



Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica JMT

4.4.2 Modelo de Curva Estándar IEC para ajuste de protecciones:

El modelo utilizado para las pruebas de ajuste, entregados por el proveedor, es el siguiente:
IEC EI (Extremely Inverse)

Figura N° 4.6: Modelo de prueba entregada por proveedor Relé S20

SEPAM IEC	$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_n}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$			
Curva Ajuste SI	k	alpha	N_X1	Betha
IEC Extremely Inverse	80	2		0,808

Fuente: manual de usuario curvas sepam s20

4.4.3 Ajuste para Pruebas:

Los ajustes seleccionados, en los relés SEPAM S20, para las pruebas fueron:

Tabla N°4.5: Ajustes de prueba relé SEPAM S20

Ajustes de parámetros para prueba de validación									
50	1,0xIn		200A		T. Definido		0,02		
51	0,11xIn		22A	IEC EI	TMS (T.Dial)		0,2	T.Def (Delay)	0,02
50N	0,2xIn		10A		T. Definido		0,02		
51N	0,16xIn		8A		TMS (T.Dial)		0,1	T.Def(Delay)	0,1

Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica JMT

Nota, para el proceso de inyección de energía, se insertaron ocho vueltas, como bobina, para utilizar rango disponible, tanto de inyección del equipo Sverker 900, como de operación de los toroides.

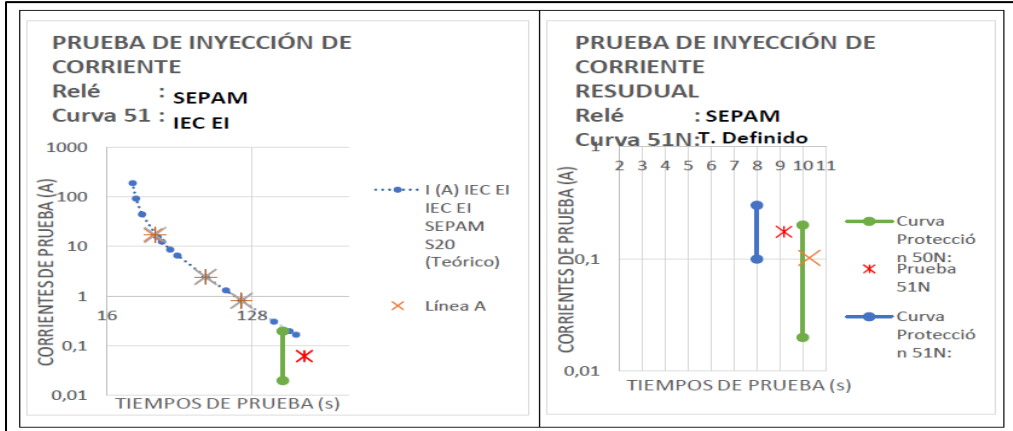
4.4.4. Resultados de las pruebas:

Los resultados de las pruebas realizadas, se tabularon y graficaron y se presentan a continuación.

Prueba de ajuste relé NS 17362637

Gráficamente:

Figura N° 4.7: Prueba inyección de corriente relé N° Serie 17362637



Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica JMT

Tabla N° 4.6: Prueba de validación relé de protección relé N° Serie 17362637.

Pruebas validación relé Protección SEPAM S20 SWG SCHNEIDER								
50/51 3φ	I pruebas	Tt	T _{LA}	T _{LB}	T _{LC}	Línea A	Línea B	Línea C
51	0,16xIn	15,84	19,55	17,687	17,29	31	32	32
			23,4%	11,7%	9,2%	6,1%	3,0%	3,0%
51	0,33xIn	2,48	2,533	2,504	2,511	66	66	66
			2,1%	1,0%	1,3%	0,0%	0,0%	0,0%
51	0,552xIn	0,83	0,828	0,842	0,837	111	110	110
			0,2%	1,4%	0,8%	0,9%	0,0%	0,0%
50	1,36xIn	0,02	0,062	0,057	0,057	272	271	272
			210,0%	185,0%	185,0%	36,0%	35,5%	36,0%
51N	0,16xIn	0,1	0,068			9,2		
						15,0%		
50N	0,2xIn	0,02	0,097			10,3		
						3,0%		
Error promedio Corr. Op.			Error promedio T. Op.					
51: 5,7%			50: 0,86%					
Error Promedio T. Op. 51: 1,4%			Error T. Op. 51N: 15,0%					
			Error T. Op. 50N: 3,0%					

Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica JMT

Prueba de ajuste relé NS 17332556

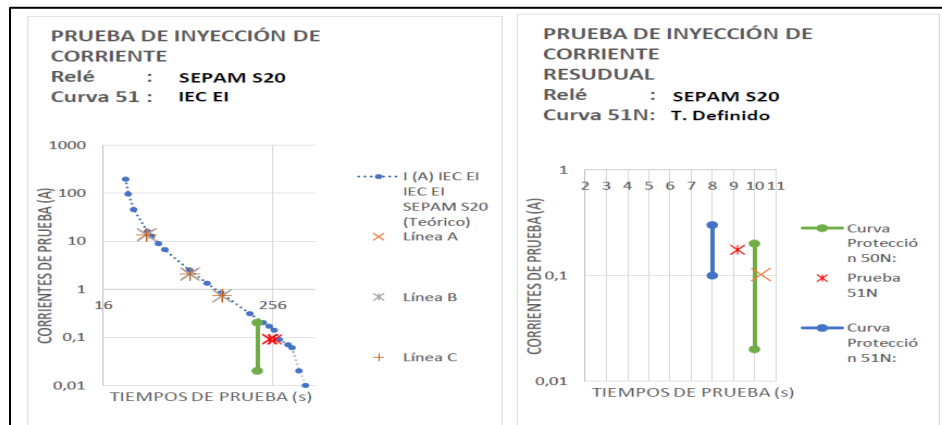
Tabla N°4.7: Prueba de validación relé de protección relé N° Serie 17362637

Pruebas validación relé Protección SEPAM S20 SWG SCHNEIDER								
50/51 3φ	I pruebas	Tt	T _{LA}	T _{LB}	T _{LC}	Línea A	Línea B	Línea C
51	0,16xIn	15,84	19,55 23,4%	17,687 11,7%	17,29 9,2%	31 6,1%	32 3,0%	32 3,0%
51	0,33xIn	2,48	2,533 2,1%	2,504 1,0%	2,511 1,3%	66 0,0%	66 0,0%	66 0,0%
51	0,552xIn	0,83	0,828 0,2%	0,842 1,4%	0,837 0,8%	111 0,9%	110 0,0%	110 0,0%
50	1,36xIn	0,02	0,062 210,0%	0,057 185,0%	0,057 185,0%	272 36,0%	271 35,5%	272 36,0%
51N	0,16xIn	0,1	0,068			9,2 15,0%		
50N	0,2xIn	0,02	0,097			10,3 3,0%		
Error promedio Corr. Op.			Error promedio T. Op.					
51: 5,7%			50: 0,86%					
Error Promedio T. Op. 51: 1,4%			Error T. Op. 51N: 15,0%					
			Error T. Op. 50N: 3,0%					

Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica JMT

Gráficamente:

Figura N° 4.8: Prueba inyección de corriente relé N° Serie 173325



Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica JMT

Figura N°4.9: Prueba de inyección de corriente



Fuente: Archivo personal

Figura N°4.11: Conexión SVERKER 900



Fuente: Archivo personal

Figura N°4.10: Conexión SEPAM S20



Fuente: Archivo personal

Figura N°4.12: SVERKER 900



Fuente: Archivo personal

4.4.5 Evaluación de resultados:

La evaluación de los resultados de las pruebas, dadas las corrientes y tiempos de operación del relé, respecto al modelo de la curva ensayada, aportadas por el fabricante, son las siguientes:

TAG SWG 345 R&P N° Serie Relé: 17362637

Error promedio Corr. Op. 51 : 3,2%

Error Promedio T. Op. 51 : 1,4%

Error promedio T. Op. 50 : 35,8%

Error T. Op. 51N : 15,0%

Error T. Op. 50N : 3,0%

TAG SWG 345 R&P N° Serie Relé: 17332556

Error promedio Corr. Op. 51 : 14,4%

Error Promedio T. Op. 51 : 1,1%

Error promedio T. Op. 50 : 25,7%

Error T. Op. 51N : 15,0%

Error T. Op. 50N : 3,0%

En ambos relés, corrientes y tiempos de operación de curva temporizada, ajustada para protección térmica trifásica, tomada como base de medición IEC- Extremadamente Inversa, tiene errores inferiores al 3,2%.

Mientras que, para las operaciones térmicas residuales, el error fue cercano al 15%.

Por otro lado, las operaciones instantáneas trifásicas, presentaron un error de 25,7% y, contrario a ello, las operaciones instantáneas residuales, fueron 3%.

Nota: Los errores que se aprecian en los resultados, podrían atribuirse al punto de operación trabajado en el toroide (16% y 56%). Por lo que, no se descarta su utilización.

4.4.6 Recomendaciones:

Dado los resultados obtenidos, se recomienda:

- 1.- Realizar estudio de protecciones con especialista certificado.
- 2.- Solicitar a especialista revisión de resultados obtenidos.
- 3.- Solicitar a Proveedor Reporte de Pruebas de Fábrica (FAT), para validar mediciones.
- 4.- Realizar plan de revisión de calibración, anual, a todos los relés de protección, de acuerdo a la legislación vigente.
- 5.- Junto con lo anterior, llevar una estadística de resultados y así poder definir un criterio de cuándo, el relé o los toroides, deban quedar fuera de servicio.
- 6.- Realizar capacitación con proveedores de Relés, a personal competente dedicado a revisión de calibración de los relés, para mejorar rendimiento y utilización de las propiedades de los mismos u otras protecciones asociadas

4.5 Aprobación y Certificación de Materiales

Todos los materiales proporcionados por el adjudicatario deberán ser sometidos a previa aprobación por parte de LMC, asegurando que cumplen con los estándares de calidad y especificaciones técnicas requeridas para el proyecto. Esta aprobación es un paso indispensable para garantizar que los materiales sean aptos para su uso en las instalaciones y que no comprometan la seguridad ni la eficiencia del sistema.

En caso de que surjan contradicciones o dudas respecto a los métodos de ejecución o los materiales a utilizar, se adoptarán aquellos que brinden mayor seguridad y confiabilidad al conjunto, según lo estime el departamento de ingeniería o el personal de supervisión en terreno. Esto garantiza que cualquier decisión se tomará con base en criterios técnicos sólidos y la experiencia del equipo responsable, priorizando siempre la integridad y desempeño del proyecto.

Nota: Todos los materiales a utilizar deben contar con su certificación correspondiente, lo cual asegura que cumplen con las normativas de calidad y seguridad exigidas. Esta certificación debe ser presentada junto con los materiales o antes de su utilización, para que se verifique que cumplen con los requisitos técnicos y legales aplicables al proyecto.

4.5.1 Cubicación básica de materiales

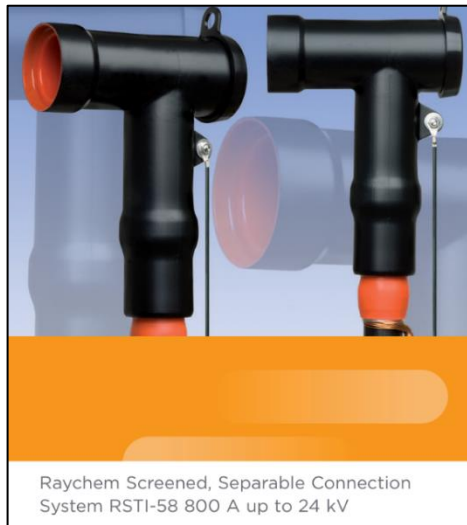
- 50 Mts de cable MT 3x2/0+3x6AWG- Clase 25kV, 133% libre de halógeno
- 02 kit de mufa tripolar de terminación tipo ojo de Mt en caliente marca Raychem, modelo HVT-252-3-GP-CL
- 03 kit de mufas tripolares de unión en caliente marca Raychem, modelo HVS-3-2521S-GP-GL
- 06 kit mufas tripolares de terminación tipo codos marca Raychem – Tyco electronics, modelo RSTI-C-68 800 (A)/42 kV.
- 01 kit de mufa tripolar de derivación tipo codo/copla marca Raychem- Tyco electronics, modelo RSTI-C68 800(A)/42

4.5.2 Conexión en el Switchgear (SWG)

Para la conexión del alimentador en el Switchgear (SWG), se utilizarán mufas de terminación tipo codo. Estas mufas permiten una conexión segura y eficiente entre el cable de media tensión y los equipos de conmutación del SWG. Las mufas tipo codo son comúnmente utilizadas en instalaciones de media tensión debido a su facilidad de instalación y mantenimiento, además de su capacidad para resistir las tensiones mecánicas y eléctricas que se generan durante la operación.

- Modelo de mufa: Se empleará el modelo RSTI-58/68 – 24/42 kV, diseñado específicamente para sistemas de media tensión de entre 24 y 42 kV. Este tipo de mufa de terminación tipo codo asegura una alta calidad y fiabilidad en las conexiones, protegiendo el sistema ante posibles fallas o sobrecargas.

Figura N° 4.13: Imagen referencial de mufa de terminación tipo codo RSTI-58/68 – 24/42 kV.



Fuente: Manual de usuario mufa de terminación tipo codo RSTI-58/68 – 24/42 kV.

4.5.3 Conexión en la Subestación (S/E Nv 345)

En la Subestación (S/E Nv 345 y 200 Gs), el conexionado del cable de media tensión se realizará a través de terminales tipo ojo. Este tipo de terminal permite una conexión firme y confiable entre el cable y el equipo de la subestación, garantizando una buena conductividad eléctrica y un contacto seguro. Los terminales tipo ojo se utilizan en sistemas de media tensión para asegurar un montaje sencillo y una conexión segura en el punto de entrada del cable a los equipos eléctricos, como interruptores o barras colectoras.

Figura N° 4.14: Imagen referencial de terminal de conexión tipo ojo.



Fuente: Archivo personal

Este proceso de conexionado y terminación está diseñado para asegurar la fiabilidad y la seguridad del sistema eléctrico, permitiendo la correcta transmisión de energía desde el alimentador hasta el Switchgear (SWG) y las Subestaciones (S/E Nv 345 y 200 GS), minimizando los riesgos de fallas y garantizando la continuidad operativa del sistema.

El resultado de la mejora implementada en el sistema de distribución eléctrica en la mina Alcaparrosa ha sido muy favorable. La actualización del diagrama de distribución, junto con la integración de un SWG y relés SEPM Serie 20, ha permitido que las dos subestaciones estén ahora protegidas de manera independiente. Como resultado, en caso de fallas o mantenimientos en una subestación, únicamente se ve afectada la zona correspondiente, sin interrumpir el suministro eléctrico en el resto de la mina. Esto ha mejorado significativamente la continuidad operativa y la estabilidad del sistema eléctrico.

La operatividad de la mina se mantiene sin alteraciones, y la implementación de un sistema de protección más robusto ha permitido reducir notablemente los tiempos de inactividad, lo que optimiza tanto la seguridad como la eficiencia del sistema. Además, al prevenir los cortes de energía generales, la mejora incrementa la fiabilidad del sistema y minimiza los impactos de eventos imprevistos sobre las actividades productivas de la mina

4.5.4 Implementación de Mejoras en Subestaciones

Antes de la mejora, al fallar una subestación o entrar en mantenimiento, ambas se veían afectadas debido a su interdependencia. Con la implementación de un **Switchgear** (SWG), se logró separar las dos subestaciones y sus respectivas cargas. Además, se instaló un relé Sepam 20 para asegurar protecciones independientes.

Anteriormente, la protección se basaba en un reconectador, y las maniobras de operación se realizaban mediante una celda de media tensión mecánica. La modernización con la instalación de un SWG ha sido un avance crucial, proporcionando una mayor seguridad en las maniobras y un sistema de protecciones más eficiente.

4.5.5 Resumen de la Afectación: Antes y Después de la Mejora

Las mejoras implementadas no solo han incrementado la seguridad del sistema eléctrico, sino que también han garantizado una mayor confiabilidad operativa, reducción significativa en los tiempos de inactividad, y una disminución de las afectaciones causadas por fallas o mantenimientos. En resumen, se ha logrado una optimización considerable del sistema de distribución, asegurando la estabilidad y continuidad de las operaciones mineras.

Tabla N°4.8: Tabla comparativa antes y después de la implementación del SWG

Aspecto Evaluado	Antes de la Mejora	Después de la Mejora
Afectación por fallas o mantención	Ambas subestaciones afectadas simultáneamente	Subestaciones operan de forma independiente
Protección principal	Reconectador compartido	Relé Sepam 20 en cada subestación
Maniobra de operación	Celda mecánica de media tensión	SWG con operación moderna
Continuidad del suministro	Alta vulnerabilidad	Mayor confiabilidad
Seguridad en maniobras	Limitada	Mejorada significativamente

Fuente: Archivo personal

Tabla N° 4.9: Tabla ilustrativa de afectación de cargas antes y después de la instalación de SWG

	TAG Subestación	Nivel Subestación	Nivel Afectado	Servicio	Ubicación	Afectación Antes de la Mejora	Afectación Después de la Mejora
Falla o mantención de S/E Nv 345 R&P	125-SE-16	200 Gs	Nv 220	Bomba	Estocada drenaje N°1	Afectada	No afectada
	125-SE-16	200 Gs	Nv 220	Bomba	Estocada drenaje N°2	Afectada	No afectada
	125-SE-16	200 Gs	Nv 220	1 Ventilador Aux	Helena 55	Afectada	No afectada
	125-SE-16	200 Gs	Nv 220	Jumbo	Frente de perforación	Afectada	No afectada
	125-SE-16	230 Gs	Nv 230	1 Ventilador Aux	Helena 55	Afectada	No afectada
	125-SE-16	230 Gs	Nv 230	Refugio	Nv 230	Afectada	No afectada
	125-SE-16	230 Gs	Nv 230	Vía de evacuación	Nv 230	Afectada	No afectada
	125-SE-16	230 Gs	Nv 230	DTH	Perforación	Afectada	No afectada
	125-SE-07	345 RyP	Nv 345	Bomba	Helena 55	Afectada	Afectada
	125-SE-07	345 RyP	Nv 345	Ventilador principal	Ventilador principal Nv 345	Afectada	Afectada
	125-SE-07	345 RyP	Nv 345	Refugio	Nv 345	Afectada	Afectada
	125-SE-07	345 RyP	Nv 345	Vía de evacuación	Nv 345	Afectada	Afectada

Fuente: Archivo personal

Figura N°4.15: Imagen de método de operación del SWG (local y remoto)



Fuente: Archivo personal

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

La minería, como pilar fundamental de la economía chilena, requiere una infraestructura eficiente y confiable para optimizar sus procesos y garantizar la seguridad en las operaciones. En este contexto, la distribución eléctrica juega un papel crucial, especialmente en ambientes subterráneos, donde la continuidad del suministro de energía es esencial para el funcionamiento de equipos críticos y la seguridad de los trabajadores. La implementación de un sistema de switchgear como el Schneider de 24 kV en la mina subterránea Alcaparrosa se presenta como una solución eficaz para mejorar la eficiencia operativa y minimizar los riesgos asociados con interrupciones en el suministro eléctrico.

El estudio y análisis realizados han demostrado que la habilitación del switchgear contribuye significativamente a la mejora de la distribución eléctrica en la mina, permitiendo la segmentación de las cargas y el aislamiento de secciones específicas en caso de fallas o mantenimientos programados. Este avance en la infraestructura eléctrica no solo optimiza la operación de maquinaria crítica, sino que también mejora la capacidad de respuesta ante emergencias y contribuye a la seguridad del entorno laboral. Además, la correcta distribución eléctrica, respaldada por un sistema de protección como el switchgear, facilita la automatización de procesos y la supervisión en tiempo real de las condiciones operativas, lo que, a su vez, mejora la productividad y reduce los riesgos. La implementación de este tipo de sistemas se alinea con las normativas de seguridad eléctrica, lo que garantiza una operación más eficiente, segura y sostenible. Finalmente, el análisis realizado proporciona una base sólida para futuras decisiones relacionadas con la infraestructura eléctrica en la minería subterránea, no solo en la faena Alcaparrosa, sino también en otras operaciones similares, demostrando la importancia de contar con un sistema de distribución eléctrica bien diseñado y gestionado para asegurar el éxito de las operaciones mineras en Chile.

En relación con los objetivos planteados en este trabajo, se logró exitosamente optimizar la distribución eléctrica en la mina subterránea Alcaparrosa mediante la implementación del sistema de switchgear Schneider de 24 kV, cumpliendo con la mejora en la eficiencia operativa, la fiabilidad del suministro eléctrico y la seguridad en las operaciones mineras. Los resultados obtenidos demostraron que la habilitación del switchgear no solo contribuyó a una mayor estabilidad operativa, sino que también permitió la reducción de tiempos de inactividad y una gestión más eficiente de la energía. Esto, a su vez, favoreció la productividad de la mina y la seguridad de los trabajadores, logrando los objetivos establecidos y proporcionando una base sólida para futuras mejoras en la infraestructura eléctrica de la minería subterránea en Chile.

TERMINOLOGIA

SWG: Los componentes de media tensión conocidos como *Switchgear* son equipos eléctricos esenciales que se conectan a los sistemas de suministro eléctrico, con la función de proteger los circuitos interrumpiendo las corrientes cuando se presentan condiciones de funcionamiento anormales, como cortocircuitos o sobrecargas. Su propósito principal es garantizar la seguridad del sistema eléctrico, permitiendo la desconexión y aislamiento de las secciones afectadas para realizar trabajos de mantenimiento y reparación de manera segura. Los Switchgears permiten una interrupción controlada de la corriente, lo que ayuda a prevenir daños mayores en los equipos y asegura la continuidad del servicio eléctrico en las secciones no afectadas. En resumen, estos dispositivos desempeñan un papel crucial en la protección de las instalaciones eléctricas, mejorando la seguridad y confiabilidad del suministro eléctrico.

Cortocircuito: Es una falla eléctrica que ocurre cuando dos conductores de diferentes potenciales (por ejemplo, fase y neutro) entran en contacto directo o a través de un material conductor, generando una corriente excesiva debido a la baja impedancia del trayecto de corriente.

Corriente de Cortocircuito: Es la corriente que circula a través de un sistema eléctrico durante un cortocircuito. Esta corriente es mucho mayor que la corriente normal de operación, lo que puede causar daños a los equipos eléctricos si no se interrumpe a tiempo.

Sobrecarga: se produce cuando el nivel de corriente eléctrica excede el valor máximo recomendado para los equipos eléctricos, como transformadores, cables, interruptores y otros dispositivos de protección, pero sin llegar a ser tan alto como para causar un cortocircuito. A diferencia de un cortocircuito, la sobrecarga no suele ser una condición instantánea ni destructiva de inmediato, pero puede resultar en un deterioro progresivo de los componentes afectados si no se controla.

MT: Rango de tensiones eléctricas que se utilizan para la transmisión y distribución de energía en sistemas eléctricos, generalmente entre 1 kV (kilovoltio) y 23 kV.

Celda de MT: Es un componente eléctrico utilizado en sistemas de distribución de electricidad para proteger y controlar la energía eléctrica en una red de media tensión

Interfaz HMI (Human-Machine Interface): Sistema que permite la interacción entre los usuarios (hombres) y las máquinas o sistemas automatizados.

Pantalla de visualización: Es el componente principal donde se muestran los datos operacionales, alarmas, y gráficos relacionados con el sistema. Puede ser una pantalla táctil, una pantalla de cristal líquido (LCD) o una pantalla de tipo LED, dependiendo del sistema.

Subestación Eléctrica (S/E): Es una instalación que forma parte del sistema de distribución de energía eléctrica. Su función principal es transformar los niveles de voltaje de la energía eléctrica para facilitar su transmisión y distribución.

Mufa: Proceso para unir dos cables, ya sea en media o baja tensión, utilizando modelo de terminación o unión, según sea el caso necesario.

Lundin Mining Company (LMC): Empresa mandataria y propietaria de las instalaciones de Candelaria.

2/0 AWG: Se refiere al tamaño de un cable eléctrico, utilizado comúnmente para la transmisión de energía en aplicaciones de media y baja tensión.

AWG: es un sistema de medida utilizado para clasificar el diámetro de los cables eléctricos. Este sistema es ampliamente utilizado en América del Norte (Estados Unidos, Canadá)

Bibliografía

- Candelaria Lundin Mining. (s.f.). *Proceso Productivo*. Recuperado el 1 de 10 de 2024, de Distrito Candelaria: <https://www.districtocandelaria.cl/districto-candelaria/proceso-productivo/>
- Comision nacional de energia. (08 de 09 de 2020). *Anexo Técnico*. Recuperado el 10 de 10 de 2024, de Exigencias Mínimas de Diseño de Instalaciones de transmisión: <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/09/EXIGENCIAS-M%C3%8DNIMAS-DE-DISE%C3%91O-DE-INSTALACIONES-DE-TRANSMISI%C3%93N.pdf>
- DIVISIÓN DE INGENIERÍA DE ELECTRICIDAD . (30 de 12 de 2020). *PLIEGO TÉCNICO NORMATIVO*. Recuperado el 20 de 10 de 2024, de RIC N°06 PUESTA A TIERRA Y ENLACE EQUIPOTENCIAL: <https://www.sec.cl/sitio-web/wp-content/uploads/2021/01/RIC-N06-Puesta-a-Tierra.pdf>
- Megger. (s.f.). *Megger*. Recuperado el 06 de 10 de 2024, de Sistema de medida de relés y subestaciones SVERKER 900: <https://www.megger.com/es-es/producto/sistema-de-medida-de-reles-y-subestaciones-sverker-900>
- Scheider Electric. (26 de 03 de 2021). *Schneider Electric*. Recuperado el 5 de 10 de 2024, de Sepam series 20, user's manual: <https://www.se.com/ar/es/download/document/PCRED301005EN/>
- Schneider Electric. (s.f.). *Celdas aisladas en gas RMU hasta 24kV*. Recuperado el 01 de 12 de 2024, de <https://www.se.com/cl/es/product-range/60709-fbx/#overview>