UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

"MONTAJE Y PRUEBAS DE SUBESTACIÓN MÓVIL 2.5 MVA – 69/13.8 KV DE SOUTHERN PERÚ COOPER CORPORATION"

PRESENTADO POR

BACHILLER WILMER JULIAN TORRES CHOQUE

ASESOR

MGR. JAVIER REMBERTO ZEBALLOS CHAVEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

MOQUEGUA – PERÚ

2025

00140-2025

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

La que suscribe, en calidad de Jefe de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias, certifica que el: Trabajo de Investigación (__) / Tesis (__) / Trabajo de Suficiencia Profesional (_X_) / Trabajo Académico (__), titulado: MONTAJE Y PRUEBAS DE SUBESTACIÓN MÓVIL 2.5 MVA–69/13.8 KV DE SOUTHERN PERÚ COOPER CORPORATION, presentado por el bachiller: TORRES CHOQUE, Wilmer Julian, para obtener el: Grado Académico (__) / Título Profesional (_X_) / Título de Segunda Especialidad (__) de: INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO, asesorado por el Mg. Javier Remberto Zeballos Chávez, designado con Resolución de Decanatura Nº 878-2024-DFAIA-UJCM, fue sometido a revisión de similitud textual con el software TURNITIN obteniendo un porcentaje del 16%, el cual se encuentra dentro de los parámetros PERMITIDOS por la Universidad José Carlos Mariátegui, de conformidad a la normativa interna, considerándolo apto para su publicación en el Repositorio Institucional.

Se expide la presente para los fines pertinentes.

Moquegua, 18 de febrero de 2025

UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI
FACULTAD DE CIENCIAS

Dra. DORA AMALIA MAYTA HUIZA
JEFE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

C.c. archivo
UI-FACS

ÍNDICE

Pág.

PÁGINA DE JURADO I

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD II

DEDICATORIA III

AGRADECIMIENTO IV

ÍNDICE V

ÍNDICE DE TABLAS X

ÍNDICE DE FIGURAS XI

RESUMEN XII

ABSTRACT XIII

INTRODUCCIÓN XIV

CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES DEL TEMA 1

1.1 ANTECEDENTES 1

1.2 DESCRIPCIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA 2

1.2.1 NOMBRE DE LA EMPRESA. 2

1.2.2 UBICACIÓN DE LA EMPRESA. 2

1.2.3 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA. 2

1.3 CONTEXTO SOCIO ECONÓMICO 3

1.3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO EN LA INSTITUCIÓN. 5

1.3.2 RECURSOS. 5

1.4 DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA 6

1.4.1 CONOCIMIENTOS TÉCNICOS. 6

1.4.2 HABILIDADES PRÁCTICAS. 7

1.4.3 BENEFICIOS PROFESIONALES. 7

1.5 EXPLICACIÓN DEL CARGO 7

1.6 PROPÓSITO DEL PUESTO 8

1.6.1 INSTALACIÓN. 8

1.7 PRODUCTO O PROCESO QUE SERÁ OBJETO DEL INFORME 9

1.8 RESULTADOS CONCRETOS QUE SE HA ALCANZADO. 10

1.8.1 RESULTADOS TÉCNICOS. 10

1.8.2 RESULTADOS OPERACIONALES. 11

1.8.3 RESULTADOS ECONÓMICOS. 11

CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN 13

2.1 EXPLICACIÓN DEL PAPEL QUE JUGARON LA TEORÍA Y LA PRÁCTICA EN EL DESEMPEÑO LABORAL 13

2.1.1 EL PAPEL DE LA TEORÍA. 13

2.1.2 EL PAPEL DE LA PRÁCTICA. 14

2.1.3 LA RELACIÓN ENTRE TEORÍA Y PRÁCTICA. 14

2.1.4 COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA. 15

2.1.4.1 Equipos de alta tensión. 15

2.1.4.2 Equipos de media tensión. 16

2.1.4.3 Equipos de baja tensión. 16

2.1.4.4 Dispositivos de medida y protección. 16

2.1.4.5 Infraestructura física. 17

2.1.4.6 Conexiones y cables. 17

2.1.4.7 Operación y mantenimiento. 18

2.1.4.8 Seguridad y normativas. 18

2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS ACCIONES, METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO A LOS QUE SE RECURRIÓ PARA RESOLVER LA SITUACIÓN PROFESIONAL OBJETO DEL INFORME… 18

2.2.1 PLANIFICACIÓN Y PREPARACIÓN. 19

2.2.2 MONTAJE FÍSICO. 19

2.2.3 PRUEBAS ELÉCTRICAS. 20

2.2.4 PUESTA EN SERVICIO. 21

2.2.5 METODOLOGÍA. 21

2.2.6 PROCEDIMIENTOS. 21

CAPÍTULO III APORTES Y DESARROLLO DE EXPERIENCIAS 23

3.1 APORTES UTILIZANDO LOS CONOCIMIENTOS O BASES TEÓRICAS ADQUIRIDAS DURANTE LA CARRERA…. 23

3.1.1 DISEÑO Y PLANIFICACIÓN. 23

3.1.2 MONTAJE DE EQUIPOS. 24

3.1.3 CONFIGURACIÓN Y AJUSTE. 25

3.1.4 PRUEBAS Y VERIFICACIÓN. 25

3.1.5 DOCUMENTACIÓN Y REPORTE. 25

3.1.6 SEGURIDAD Y CUMPLIMIENTO NORMATIVO. 26

3.1.7 OPTIMIZACIÓN Y MEJORA CONTINUA. 26

3.1.8 COMPRENSIÓN INTEGRAL DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS. 26

3.1.9 DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS. 27

3.1.10 INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE EQUIPOS. 28

3.1.11 GESTIÓN DE PROYECTOS. 28

3.2 DESARROLLO DE EXPERIENCIAS 28

3.2.1 EXPERIENCIAS PRÁCTICAS EN EL CAMPO. 29

3.2.1.1 Resolución de problemas. 29

3.2.1.2 Gestión de proyectos. 29

3.2.1.3 Seguridad y cumplimiento normativo. 29

3.2.1.4 Pruebas y verificación. 30

3.2.1.5 Experiencias operativas. 30

3.2.1.6 Documentación y reporte. 31

3.2.1.7 Optimización y mejora continua. 31

3.2.1.8 Desarrollo profesional. 31

3.2.2 PROCEDIMIENTO DEL MONTAJE Y PRUEBAS DE LA SUBESTACIÓN MÓVIL. 32

3.2.2.1 Montaje de la subestación móvil 2.5 MVA. 32

3.2.2.2 Cambio de posición del seccionador de la Subestación Móvil. 34

3.2.2.3 Pruebas eléctricas del transformador 2.5/2.8/3.5 MVA. 38

3.2.2.4 Precomisionamiento. 39

3.2.2.5 Comisionamiento. 40

3.2.3 RECURSOS HUMANOS. 42

3.2.4 EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL. 42

3.2.5 MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS. 43

3.2.5.1 Equipos. 43

3.2.5.2 Materiales. 43

3.2.5.3 Herramientas.....44

3.2.6 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS. 44

3.2.6.1 Beneficios directos para la operación minera. 44

3.2.6.2 Beneficios específicos para el asiento minero. 45

3.2.6.3 Resultados de las pruebas. 45

CONCLUSIONES 48

RECOMENDACIONES 49

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 50

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 *Inspección visual de componentes*.....38

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 *Organigrama de la empresa* 3

Figura 2 *Subestación eléctrica móvil* 12

Figura 3 *Panel operación mecánica del seccionador de línea*.....24

Figura 4 *Pegado de tags en pararrayos de 90kv y entrada de transformador*.....27

Figura 5 *Maniobra de accionamiento cierre y apertura de Seccionador* 34

Figura 6 *Prueba de resistencia de aislamiento del transformador* 41

Figura 7 *Soldeo, limpieza de soportes y cartelas, base de tablero motorizado.* 46

Figura 8 *Cambio de contactores del control en los interruptores.* 47

RESUMEN

Este informe detalla las actividades realizadas para el montaje y pruebas de la subestación móvil 2.5 MVA – 69/13.8 KV perteneciente a Southern Perú Cooper Corporation. La subestación está diseñada para ofrecer flexibilidad operativa y soporte en la distribución de energía en áreas remotas o durante emergencias. Los objetivos principales fueron realizar el montaje completo de la subestación móvil, asegurando la correcta instalación de todos los equipos y componentes, ejecutar una serie de pruebas funcionales y de seguridad para verificar el correcto funcionamiento de la subestación y garantizar su conformidad con los estándares técnicos y de seguridad. La metodología utilizada se puede resumir en cuatro aspectos: verificación previa del estado de los equipos y la planificación del montaje en sitio, incluyendo la preparación del área y las condiciones de instalación, instalación de transformadores, interruptores, seccionadores, paneles de control, y otros componentes esenciales de la subestación móvil, realización de pruebas eléctricas, como la medición de resistencias de aislamiento, pruebas de carga, y verificación de la operatividad de sistemas de protección y control, y evaluación de sistemas de puesta a tierra, revisión de protecciones contra sobrecargas y cortocircuitos, y confirmación del cumplimiento con normativas de seguridad.

Palabras clave: Subestación Móvil, Montaje, Pruebas, Seguridad.

ABSTRACT

This report details the activities carried out for the assembly and testing of the 2.5 MVA – 69/13.8 KV mobile substation belonging to Southern Perú Cooper Corporation. The substation is designed to offer operational flexibility and support in power distribution in remote areas or during emergencies. The main objectives were to carry out the complete assembly of the mobile substation, ensuring the correct installation of all equipment and components, execute a series of functional and safety tests to verify the correct operation of the substation and guarantee its compliance with technical standards and security. The methodology used can be summarized in four aspects: prior verification of the state of the equipment and planning of the assembly on site, including the preparation of the area and installation conditions, installation of transformers, switches, disconnectors, control panels, and others. essential components of the mobile substation, electrical testing, such as measuring insulation resistance, load testing, and verification of the operability of protection and control systems, and evaluation of grounding systems, review of overload protections and short circuits, and confirmation of compliance with safety regulations.

Keywords: Mobile Substation, Assembly, Testing, Security.

INTRODUCCIÓN

En el contexto de la creciente demanda de energía y la necesidad de garantizar la continuidad del suministro eléctrico, Southern Perú Cooper Corporation ha incorporado una subestación móvil de 2.5 MVA – 69/13.8 kV como una solución flexible y eficiente para la distribución de energía. Esta subestación móvil está diseñada para ser desplegada en diversas ubicaciones, lo que permite una respuesta rápida ante emergencias, mantenimiento de infraestructura existente, o expansión de redes eléctricas en áreas remotas o en desarrollo.

El presente informe de suficiencia tiene como objetivo detallar el proceso de montaje y las pruebas realizadas a la subestación móvil, asegurando que esta cumpla con los estándares técnicos y de seguridad necesarios para su operación efectiva. El informe cubre desde la preparación y verificación inicial del equipo hasta las pruebas funcionales y de seguridad realizadas para validar su rendimiento.

El proceso de montaje y pruebas es crucial para garantizar que la subestación móvil funcione de manera óptima y segura, minimizando riesgos y asegurando que la infraestructura eléctrica pueda soportar la demanda y los desafíos operativos previstos. Este informe proporciona un análisis exhaustivo de cada etapa del proceso, destacando los resultados obtenidos y las recomendaciones para el mantenimiento y operación continua de la subestación.

Con este informe, Southern Perú Cooper Corporation busca asegurar la calidad y fiabilidad de su infraestructura eléctrica móvil, contribuyendo a la estabilidad y eficiencia de su red de distribución de energía.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DEL TEMA

1.1 Antecedentes

Considerando que Southern Perú Copper Corporation es una empresa minera de gran envergadura, la actividad del montaje y las pruebas de su subestación móvil se han realizado siguiendo estándares internacionales y las mejores prácticas de la industria.

Algunos aspectos específicos que han sido considerados incluyen:

- Condiciones ambientales: dado que las operaciones mineras suelen llevarse a cabo en entornos hostiles, la subestación móvil fue diseñada y construida para resistir condiciones climáticas extremas, vibraciones y otros factores ambientales.
- Seguridad: se han implementado rigurosos protocolos de seguridad durante todas las etapas del proceso, incluyendo el uso de equipos de protección personal, permisos de trabajo y procedimientos de bloqueo y etiquetado.
- Calidad: en su construcción se han utilizado materiales y equipos de alta calidad, y se han llevado a cabo inspecciones y pruebas exhaustivas para

garantizar la confiabilidad y durabilidad de la subestación mientras se encuentre en operación.

Es por estas razones que el montaje y pruebas de la subestación móvil deben ser exhaustivas.

1.2 Descripción y organización de la empresa

1.2.1 Nombre de la empresa.

"Southern Perú Copper Corporation"

1.2.2 Ubicación de la empresa.

Av. Caminos del Inca 171 Urb. Chacarilla del Estanque Santiago de Surco - Lima

1.2.3 Descripción de la empresa.

Southern Copper Corporation es uno de los productores integrados de cobre (concentrado, cátodos y alambrón) más grandes del mundo. Produce molibdeno, zinc, plata, plomo y otros subproductos. Todas sus minas, fundiciones y refinerías están ubicadas en México y Perú, donde realiza actividades de exploración en dichos países, además, en Chile, Ecuador y Argentina. Es una de las mayores compañías mineras productoras de cobre del mundo.

El principal objetivo es desarrollar actividades de concesión en yacimientos mineros. Nuestras principales actividades comprenden: explorar, investigar, extraer, moler, fundir, convertir, tratar, manufacturar, preparar para el mercado, vender, permutar y en general, producir y negociar cobre, molibdeno, oro, plata y cualquier otra clase de minerales y materiales, efectos y mercancías de cualquier naturaleza o descripción.

Figura 1

Organigrama de la empresa

Nota. La organización de la empresa a través de un organigrama. Fuente de (Corporation, 2021).

1.3 Contexto socio económico

Southern Perú Copper Corporation (SPCC) se encuentra inmersa en un contexto socioeconómico complejo y dinámico, caracterizado por su influencia en la economía peruana y las relaciones con las comunidades locales.

- Impacto económico Pilar de la economía peruana: SPCC es una de las principales empresas mineras del Perú y una de las mayores exportadoras de cobre del mundo. Su producción representa una parte significativa del Producto Bruto Interno (PBI) del país y genera importantes ingresos fiscales.
- Generación de empleo: La empresa emplea a miles de trabajadores directos e indirectos, contribuyendo a la generación de empleo y dinamizando la economía de las regiones donde opera.

- Inversión y desarrollo: SPCC realiza significativas inversiones en exploración, desarrollo de proyectos y mejora de sus operaciones, lo que impulsa el crecimiento económico y el desarrollo tecnológico del país.
- Cadena de valor: La actividad minera de SPCC genera una amplia cadena de valor, involucrando a proveedores de bienes y servicios, empresas de transporte, y otros sectores de la economía.
- Desarrollo social: SPCC ha implementado diversos programas de desarrollo social en las comunidades donde opera, enfocados en salud, educación, infraestructura y desarrollo productivo.
- Conflictos socioambientales: A pesar de los esfuerzos de la empresa, ha enfrentado diversos conflictos socioambientales relacionados con el manejo de residuos mineros, el uso del agua, y la afectación a los ecosistemas.
- Diálogo y negociación: La empresa ha buscado establecer un diálogo más cercano con las comunidades locales y ha participado en procesos de negociación para buscar soluciones a los conflictos.
- Marco legal: La actividad minera de SPCC está regulada por un marco legal nacional y regional, que establece los estándares ambientales y sociales que la empresa debe cumplir.
- Públicas: Las políticas públicas del gobierno peruano en materia minera han evolucionado a lo largo del tiempo, buscando un equilibrio entre el desarrollo económico y la protección del medio ambiente y los derechos de las comunidades.

- Responsabilidad social empresarial: La empresa ha adoptado políticas de responsabilidad social empresarial, comprometiéndose a operar de manera sostenible y a contribuir al desarrollo de las comunidades donde opera.

1.3.1 Descripción del área de trabajo en la institución.

Para la ejecución del Montaje y Pruebas de Subestación Móvil 2.5 MVA – 69/13.8 KV de Southern Perú Cooper Corporation, la experiencia profesional se efectuó en los talleres de planta en el asiento minero de Toquepala.

Una subestación móvil 2.5 MVA – 69/13.8 KV es una unidad de generación de energía eléctrica diseñada para ser transportada y puesta en funcionamiento en ubicaciones remotas o temporales. Su principal función es suministrar energía eléctrica a zonas donde no existe una red eléctrica estable o cuando se requiere un aumento temporal de la capacidad de suministro. El valor de 2.5 MVA indica la potencia aparente máxima que la subestación puede entregar. MVA significa Megavoltamperio, una unidad de medida de potencia en sistemas de corriente alterna.

Los valores 69/13.8 KV se refieren a los niveles de tensión en los que opera la subestación. La subestación recibe energía a una tensión de 69 kilovoltios (kV) y la transforma a una tensión de 13.8 kV para su distribución.

1.3.2 Recursos.

Southern Perú Copper Corporation (SPCC), al ser una de las principales compañías mineras a nivel mundial, dispone de una amplia gama de recursos para garantizar el óptimo funcionamiento y mantenimiento de sus equipos. Estos recursos se pueden clasificar en diversos tipos como son: recursos humanos, recursos tecnológicos, recursos financieros, recursos físicos, recursos de información, etc.

1.4 Descripción de la experiencia

La experiencia que pude obtener como bachiller en ingeniería mecánica eléctrica al participar en el montaje y pruebas de la subestación móvil es invaluable y multifacética. A continuación, te detallo algunas de las habilidades y conocimientos que pude adquirir:

1.4.1 Conocimientos técnicos.

- Diseño y Configuración: Comprenderá en profundidad el diseño eléctrico y mecánico de la subestación, así como la configuración de los equipos de protección y control.
- Normas y Estándares: Se familiarizará con las normas aplicables a subestaciones eléctricas, como las normas IEC y IEEE.
- Procedimientos de Seguridad: Aprenderá los procedimientos de seguridad específicos para trabajar en alta tensión, así como las medidas de protección personal.
- Pruebas Eléctricas: Adquirirá experiencia en la realización de diversas pruebas eléctricas, como pruebas de aislamiento, pruebas de tensión inducida, pruebas de puesta a tierra, etc.
- Sistemas de Protección: Entenderá el funcionamiento de los sistemas de protección de la subestación, como relés de sobrecorriente, relés de distancia, etc.
- Sistemas de Control: Se familiarizará con los sistemas de control de la subestación, como sistemas SCADA y sistemas de comunicación.

1.4.2 Habilidades prácticas.

- Montaje de Equipos: Aprenderá a montar y alinear los diferentes equipos de la subestación, como transformadores, interruptores, seccionadores, etc.
- Conexionado: Adquirirá habilidades para realizar conexiones eléctricas de alta tensión de manera segura y eficiente.
- Calibración: Aprenderá a calibrar los equipos de medición y protección.
- Solución de Problemas: Desarrollará habilidades para identificar y solucionar problemas técnicos que puedan surgir durante el montaje y las pruebas.
- Trabajo en Equipo: Colaborará con otros profesionales de la ingeniería y técnicos para llevar a cabo el proyecto.

1.4.3 Beneficios profesionales.

- Experiencia Práctica: La experiencia en el montaje y pruebas de una subestación móvil es muy valorada en el mercado laboral.
- Desarrollo de Habilidades: Adquirirá habilidades técnicas y blandas que le serán útiles a lo largo de su carrera profesional.
- Ampliación de Conocimientos: Aumentará su conocimiento sobre los sistemas eléctricos de potencia.
- Oportunidades de Crecimiento: Esta experiencia puede abrirles puertas a nuevas oportunidades laborales y de desarrollo profesional.

1.5 Explicación del cargo

Como Bachiller en Ingeniería Mecánica Eléctrica y técnico especialista en montaje de Subestaciones Móviles, me toco ser el responsable de ejecutar las actividades técnicas para la instalación, conexión y puesta en marcha de la subestación eléctrica móvil de

2.5 MVA. Realizamos pruebas de funcionamiento, calibración de equipos y garantiza el cumplimiento de las normas de seguridad.

1.6 Propósito del puesto

El técnico especialista en montaje y pruebas de subestaciones móviles desempeña un papel crucial en la puesta en marcha y operación segura y eficiente de este tipo de infraestructura eléctrica. Su objetivo principal es garantizar que la subestación móvil esté correctamente instalada, configurada y lista para suministrar energía eléctrica de manera confiable. A continuación, se detallan los propósitos específicos de este puesto:

1.6.1 Instalación.

- Realizar el montaje físico de todos los componentes de la subestación móvil, asegurando que se cumplan las especificaciones técnicas y las normas de seguridad.
- Conexión: Establecer las conexiones eléctricas entre los diferentes equipos de la subestación, verificando la polaridad y la continuidad de los circuitos.
- Programar y configurar los equipos de protección, control y medición de la subestación, ajustando los parámetros según necesidades del sistema eléctrico.
- Pruebas: Ejecutar una serie de pruebas eléctricas para verificar el correcto funcionamiento de todos los equipos y sistemas de la subestación. Estas pruebas incluyen:
    - Pruebas de aislamiento
    - Pruebas de tensión inducida
    - Pruebas de puesta a tierra

- Pruebas de protección
- Pruebas de sincronización

- Puesta en servicio: Entregar la subestación móvil al cliente, asegurando que esté lista para su operación y proporcionando la documentación técnica necesaria.
- Mantenimiento: Realizar tareas de mantenimiento preventivo y correctivo en la subestación móvil, con el fin de prolongar su vida útil y garantizar su disponibilidad.
- Soporte técnico: Brindar soporte técnico a los clientes durante la operación de la subestación móvil, resolviendo cualquier problema o incidencia que pueda surgir.

1.7 Producto o proceso que será objeto del informe

El presente informe describe el proceso de montaje, pruebas y puesta en servicio de una subestación eléctrica móvil de 2.5 MVA – 69/13.8 kV, realizada en la empresa Southern Perú Cooper Corporation. Se detalla cada una de las etapas del proceso, desde la recepción de los equipos hasta la entrega final al cliente, incluyendo las pruebas realizadas para verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas y las normas de seguridad aplicables.

Este informe presenta los resultados de la evaluación de un sistema de generación y distribución de energía eléctrica portátil, instalado en el asiento minero Toquepala. Se detallan las pruebas realizadas a los equipos principales de la subestación, como el transformador, los interruptores y los sistemas de protección, así como los resultados obtenidos.

1.8 Resultados concretos que se ha alcanzado.

Una vez concluido el proceso de montaje y pruebas de una subestación móvil, se espera obtener una serie de resultados concretos que demuestren el correcto funcionamiento del equipo y su capacidad para cumplir con los objetivos para los cuales fue diseñado. A continuación, se presentan algunos de los resultados más comunes:

1.8.1 Resultados técnicos.

- Verificación del cumplimiento de especificaciones: Se confirma que todos los componentes de la subestación (transformadores, interruptores, relés, etc.) cumplen con las especificaciones técnicas del fabricante y los requerimientos del proyecto.
- Funcionamiento correcto de los equipos: Se comprueba que todos los equipos de la subestación operan de manera adecuada y coordinada, según lo previsto en los diagramas unifilares y los esquemas de protección.
- Calibración de instrumentos de medición: Se asegura que los instrumentos de medición (amperímetros, voltímetros, etc.) estén calibrados correctamente y proporcionen lecturas precisas.
- Ajuste de parámetros de protección: Se configuran los relés de protección y los dispositivos de control para garantizar una adecuada protección de la subestación y de los equipos conectados.
- Verificación de los sistemas de puesta a tierra: Se confirma que el sistema de puesta a tierra cumple con los requisitos de seguridad y proporciona una adecuada protección contra fallas a tierra.

1.8.2 Resultados operacionales.

- Puesta en servicio exitosa: La subestación móvil está lista para ser conectada al sistema eléctrico y suministrar energía de manera segura y confiable.
- Disponibilidad del equipo: Se garantiza que la subestación esté disponible para su uso inmediato en caso de necesidad.
- Reducción de tiempos de respuesta: En caso de emergencias o contingencias, la subestación móvil puede ser rápidamente desplegada para restablecer el suministro eléctrico.
- Flexibilidad en la operación: La subestación móvil puede ser fácilmente reubicada y adaptada a diferentes condiciones de trabajo.

1.8.3 Resultados económicos.

- Optimización de recursos: El uso de una subestación móvil puede reducir los costos asociados a la construcción de una subestación fija, especialmente en proyectos temporales o de pequeña escala.
- Aumento de la eficiencia: La subestación móvil permite una distribución de energía más eficiente y una reducción de las pérdidas en la línea.
- Reducción de tiempos de inactividad: Al contar con una subestación móvil, se pueden reducir los tiempos de interrupción del servicio eléctrico en caso de fallas o mantenimiento de la infraestructura existente.

Figura 2

Subestación eléctrica móvil

Nota. Se muestra el área del trasformador a desmontar. Fuente de (Corporation, 2021).

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 Explicación del papel que jugaron la teoría y la práctica en el desempeño laboral

El montaje y pruebas de la subestación móvil de 2.5 MVA – 69/13.8 kV es un proceso que requiere una combinación equilibrada de conocimientos teóricos y habilidades prácticas. Ambos aspectos son fundamentales para garantizar el éxito de la operación y la seguridad de los trabajadores involucrados.

2.1.1 El papel de la teoría.

La teoría proporciona la base conceptual para entender los principios de funcionamiento de los equipos eléctricos, los sistemas de protección, los diagramas unifilares y las normas de seguridad. Los conocimientos teóricos permiten a los técnicos:

- Interpretar planos y diagramas: Comprender la configuración de la subestación y las conexiones entre los diferentes equipos.
- Seleccionar los equipos adecuados: Elegir los equipos que cumplen con las especificaciones técnicas del proyecto.

- Realizar cálculos eléctricos: Dimensionar los conductores, los dispositivos de protección y los sistemas de puesta a tierra.
- Aplicar las normas de seguridad: Conocer y aplicar las normas nacionales e internacionales de seguridad eléctrica para prevenir accidentes.
- Resolver problemas: Diagnosticar y solucionar problemas técnicos que puedan surgir durante el montaje y las pruebas.

2.1.2 El Papel de la práctica.

La práctica, por su parte, permite aplicar los conocimientos teóricos en situaciones reales y desarrollar habilidades manuales. La experiencia práctica permite a los técnicos:

- Realizar el montaje físico de los equipos: Conectar los conductores, instalar los dispositivos de protección y ajustar los parámetros de los equipos.
- Utilizar herramientas y equipos de medición: Manejar de forma segura y eficiente las herramientas y equipos necesarios para el montaje y las pruebas.
- Trabajar en equipo: Colaborar con otros técnicos para realizar las tareas de manera eficiente y segura.
- Adaptarse a diferentes situaciones: Resolver problemas inesperados y encontrar soluciones creativas.
- Desarrollar habilidades de resolución de problemas: Identificar y solucionar problemas técnicos de manera rápida y eficaz.

2.1.3 La Relación entre teoría y práctica.

- La teoría y la práctica están estrechamente relacionadas y se complementan mutuamente. Un técnico con sólidos conocimientos teóricos podrá realizar un

trabajo más eficiente y seguro, mientras que un técnico con amplia experiencia práctica podrá aplicar sus conocimientos de manera más efectiva.

- En resumen, tanto la teoría como la práctica son fundamentales para el éxito del montaje y pruebas de una subestación móvil. Un técnico bien preparado deberá combinar ambos aspectos para garantizar la calidad y la seguridad de la instalación.

2.1.4 Componentes principales de una subestación eléctrica.

Una subestación eléctrica es una instalación crucial en el sistema de transmisión y distribución de energía eléctrica. Su función principal es transformar la energía de alta tensión en niveles adecuados para la distribución a los consumidores finales. A continuación, se detalla su estructura y componentes en media y baja tensión:

2.1.4.1 Equipos de alta tensión.

- Transformadores de Potencia: Estos dispositivos son fundamentales para la reducción de la tensión de alta a media tensión. En la subestación, la energía eléctrica se recibe en alta tensión (por ejemplo, 110 kV) y se transforma a una tensión más baja adecuada para la distribución (por ejemplo, 33 kV o 11 kV).
- Interruptores de Potencia: Son equipos diseñados para abrir o cerrar el circuito bajo condiciones de carga. En caso de una falla o sobrecarga, los interruptores protegen el sistema al cortar el flujo de energía (Iberdrola, s.f.).
- Seccionadores: Permiten desconectar partes del sistema para mantenimiento o reparación. Operan sin carga, es decir, cuando el circuito está apagado.
- Transformadores de Medida: Utilizados para medir la tensión y la corriente en alta tensión, permitiendo un monitoreo adecuado del sistema.

2.1.4.2 Equipos de media tensión.

- Transformadores de Distribución: Estos transformadores reducen la tensión de media a baja tensión, haciendo que la energía sea adecuada para su distribución final a los usuarios. Por ejemplo, transforman 33 kV a 400 V o 230 V, según las necesidades del sistema.
- Interruptores de Media Tensión: Operan para proteger el sistema de sobrecargas y cortocircuitos. Su función es similar a la de los interruptores de potencia, pero adaptados para la media tensión (Sáenz, 2013).
- Seccionadores y Cortacircuitos: Al igual que en alta tensión, se utilizan para aislar secciones del circuito y realizar mantenimientos. Los cortacircuitos están diseñados para manejar cortocircuitos y situaciones de alta corriente.

2.1.4.3 Equipos de baja tensión.

- Cajas de Distribución: En la baja tensión, la energía se distribuye a través de cajas de distribución que agrupan varios circuitos para entregar electricidad a diferentes áreas o consumidores.
- Protecciones de Baja Tensión: Incluyen dispositivos como interruptores automáticos, que protegen los circuitos contra sobrecargas y cortocircuitos.

2.1.4.4 Dispositivos de medida y protección.

- Contadores de Energía: Miden la cantidad de electricidad consumida por los usuarios. En la subestación, los contadores suelen estar en la parte de baja tensión (Sáenz, 2013).

- Relés de Protección: Monitorean las condiciones de la red y activan los interruptores para desconectar el sistema en caso de fallas. Los relés pueden estar configurados para detectar sobrecargas, cortocircuitos y otros problemas.
- Equipos de Medición de Tensión y Corriente: Utilizados para supervisar y controlar la calidad del suministro eléctrico (Harper, 2005).

2.1.4.5 Infraestructura física.

- Edificio de Subestación: Alberga todos los equipos eléctricos y de control. Puede incluir salas para el personal, sistemas de ventilación, y protecciones contra incendios.
- Aislamiento y Seguridad: Las subestaciones están diseñadas para asegurar la protección del personal y el equipo. Esto incluye cercas de seguridad, sistemas de control de acceso, y señalización de alto voltaje.
- Sistemas de Enfriamiento: Los transformadores y otros equipos generan calor durante su funcionamiento. Los sistemas de enfriamiento, que pueden ser a aire o a aceite, aseguran que los equipos operen a temperaturas seguras.

2.1.4.6 Conexiones y cables.

- Cables de Alta Tensión: Transportan la energía desde la línea de transmisión hasta la subestación y desde la subestación hasta los transformadores.
- Cables de Media y Baja Tensión: Distribuyen la energía transformada a los distintos puntos de consumo. Los cables deben cumplir con normativas específicas para garantizar su seguridad y eficiencia (Harper, 2005).

2.1.4.7 Operación y mantenimiento.

- Monitoreo y Control: Las subestaciones modernas suelen estar equipadas con sistemas de control y monitoreo que permiten la supervisión en tiempo real y la automatización de operaciones.
- Mantenimiento Preventivo y Correctivo: Para garantizar la fiabilidad del sistema, se realizan inspecciones regulares y mantenimientos tanto preventivos como correctivos. Esto incluye la revisión de equipos y reemplazo de componentes.

2.1.4.8 Seguridad y normativas.

- Cumplimiento de Normativas: Las subestaciones deben cumplir con normativas locales e internacionales de seguridad eléctrica, medioambiental y de construcción (Ojeda, 2016)
- Planes de Emergencia: Las subestaciones deben contar con procedimientos para responder a emergencias, como incendios o fallas en el equipo.

Cada componente y equipo en una subestación eléctrica tiene un papel crucial en el suministro seguro y eficiente de electricidad. La integración y operación adecuada de estos elementos garantizan la estabilidad del suministro eléctrico desde la alta tensión hasta la entrega final a los consumidores.

2.2 Descripción de las acciones, metodología y procedimiento a los que se recurrió para resolver la situación profesional objeto del informe

La siguiente descripción, corresponde a las acciones, metodología y los procedimientos de seguridad establecidos por Southern Perú Cooper Corporation, respecto al montaje y pruebas de la subestación móvil.

2.2.1 Planificación y preparación.

- Revisión de los planos y especificaciones: Se realizó una revisión exhaustiva de los planos eléctricos, mecánicos y de instrumentación de la subestación móvil para verificar la compatibilidad con el sitio de instalación y los requisitos del cliente.
- Preparación del sitio: Se acondicionó el terreno donde se instalaría la subestación, incluyendo la nivelación, la compactación del suelo y la construcción de las bases para los equipos.
- Verificación de la disponibilidad de materiales y herramientas: Se verificó que todos los materiales, equipos y herramientas necesarios para el montaje estuvieran disponibles en el sitio y en buenas condiciones.
- Elaboración del programa de trabajo: Se estableció un programa detallado de las actividades a realizar, incluyendo los recursos necesarios, los plazos y las responsabilidades de cada equipo.

2.2.2 Montaje Físico.

- Descarga y posicionamiento de los equipos: Se descargaron cuidadosamente los equipos de la subestación móvil y se posicionaron en sus ubicaciones correspondientes, siguiendo las indicaciones de los planos.
- Conexión de los conductores: Se realizaron las conexiones eléctricas entre los diferentes equipos de la subestación, utilizando conductores de la sección adecuada y siguiendo las especificaciones de los planos.
- Instalación de los dispositivos de protección: Se instalaron los relés de protección, los interruptores, los seccionadores y otros dispositivos de

protección, configurando los parámetros de acuerdo a las especificaciones técnicas.

- Montaje de los sistemas de puesta a tierra: Se instalaron los sistemas de puesta a tierra, incluyendo las varillas de puesta a tierra y las conexiones a los equipos.
- Verificación de las conexiones: Se realizó una inspección visual de todas las conexiones para asegurar que estuvieran correctamente realizadas y sin daños.

2.2.3 Pruebas eléctricas.

- Pruebas de aislamiento: Se realizaron pruebas de aislamiento a todos los equipos de la subestación para verificar la integridad del aislamiento y detectar posibles fallas.
- Pruebas de continuidad: Se verificó la continuidad de los circuitos eléctricos para asegurar que no existan interrupciones en las conexiones.
- Pruebas de polaridad: Se verificó la polaridad de las conexiones para asegurar que los equipos estuvieran correctamente conectados.
- Pruebas de tensión inducida: Se realizaron pruebas de tensión inducida para verificar que los niveles de tensión inducida en los equipos y estructuras metálicas estuvieran dentro de los límites permitidos.
- Pruebas de funcionamiento: Se realizaron pruebas de funcionamiento de todos los equipos de la subestación para verificar que operaran correctamente bajo condiciones normales y de falla.
- Pruebas de protección: Se realizaron pruebas de protección para verificar que los relés y los dispositivos de protección operaran correctamente en respuesta a diferentes tipos de fallas.

2.2.4 Puesta en servicio.

- Sincronización con el sistema eléctrico: Se sincronizó la subestación móvil con el sistema eléctrico existente, siguiendo los procedimientos establecidos.
- Verificación de los parámetros de operación: Se verificaron los parámetros de operación de la subestación, como la tensión, la frecuencia y la corriente, para asegurar que estuvieran dentro de los límites permitidos.
- Se entregó la subestación móvil al cliente, junto con la documentación técnica.

2.2.5 Metodología.

- Inspección visual: Se realizaron inspecciones visuales periódicas durante todo el proceso de montaje y pruebas para detectar cualquier anomalía o desviación de los planos.
- Verificación documental: Se verificó que toda la documentación técnica estuviera actualizada y completa.
- Uso de equipos de medición: Se utilizaron equipos de medición precisos para realizar las pruebas eléctricas y verificar los parámetros de los equipos.
- Cumplimiento de las normas de seguridad: Se siguieron estrictamente las normas de seguridad eléctrica y las medidas de protección personal durante todo el proceso.

2.2.6 Procedimientos.

Los procedimientos específicos utilizados durante el montaje y las pruebas de la subestación móvil se detallaron en los procedimientos operativos estándar desarrollados para el proyecto. Estos procedimientos incluyeron:

- Procedimientos de seguridad: Permisos de trabajo, uso de equipos de protección personal, señalización de peligro, y otros.
- Procedimientos de montaje: Secuencia de montaje, conexiones eléctricas, ajuste de parámetros, y otros.
- Procedimientos de prueba: Tipos de pruebas, equipos de medición, criterios de aceptación, y otros.
- Procedimientos de puesta en servicio: Sincronización, verificación de parámetros, entrega al cliente, y otros.

CAPÍTULO III

APORTES Y DESARROLLO DE EXPERIENCIAS

3.1 Aportes utilizando los conocimientos o bases teóricas adquiridas durante la carrera

Siendo bachiller en ingeniería mecánica eléctrica pude hacer valiosos aportes en el montaje y las pruebas de una subestación móvil de 2.5 MVA, 69/13.8 kV de la empresa Southern Perú Cooper Corporation. A continuación, detallo cómo los conocimientos y bases teóricas adquiridos durante la carrera pueden ser aplicados en este contexto:

3.1.1 Diseño y planificación.

- Diseño de Sistemas de Energía: Aplicando conocimientos sobre sistemas eléctricos, he sido capaz de colaborar en el diseño de la distribución de energía dentro de la subestación móvil, asegurando que los equipos estén adecuadamente dimensionados y ubicados.
- Planificación de Instalaciones: Utilizando conocimientos en planificación de proyectos, pude ayudar a crear un plan detallado para el montaje, que incluya cronogramas, recursos necesarios y logística.

3.1.2 Montaje de equipos.

- Instalación de Transformadores: Con los conocimientos adquiridos en la teoría de transformadores, tuve la ocasión de participar en la correcta instalación y conexión del transformador de 2.5 MVA, asegurando que se respeten los parámetros.
- Conexión de Equipos de Alta y Media Tensión: Pude aplicar principios de diseño eléctrico para conectar interruptores, seccionadores y otros equipos de alta y media tensión de manera segura y eficiente.
- Cableado y Conexiones: Aplicando fundamentos de teoría de cables y redes eléctricas, realice labores de supervisión de las conexiones de cables de alta y baja tensión, garantizando que se cumplan las normas técnicas y de seguridad.

Figura 3

Panel operación mecánica del seccionador de línea

Nota. Panel el cual se utilizará para la operación mecánica del seccionador de línea. Fuente (Corporation, 2021).

3.1.3 Configuración y ajuste.

- Ajuste de Equipos: Usando conocimientos sobre equipos eléctricos, pude realizar ajustes en los transformadores y otros dispositivos para asegurar que operen dentro de sus especificaciones óptimas.
- Configuración de Protección y Control: Pude ayudar a configurar sistemas de protección como relés e interruptores, y de control como paneles de control y sistemas de monitoreo, para asegurar un funcionamiento seguro y fiable.

3.1.4 Pruebas y verificación.

- Pruebas de Aislación: Con conocimientos sobre pruebas de aislamiento y mediciones eléctricas, logre realizar pruebas para verificar la integridad del aislamiento de cables y equipos.
- Pruebas de Funcionamiento: Participe en la ejecución de pruebas de funcionamiento de la subestación para asegurar que todos los equipos operen correctamente bajo condiciones normales y de carga.
- Verificación de Parámetros: Realice mediciones de tensión, corriente y potencia para verificar que los valores estén dentro de los rangos especificados.

3.1.5 Documentación y reporte.

- Documentación Técnica: Utilizamos habilidades de documentación para registrar todas las pruebas realizadas, resultados obtenidos, y cualquier incidencia durante el montaje y pruebas.
- Informes y Recomendaciones: Redactamos informes detallados sobre el estado de la subestación y recomendar ajustes o acciones correctivas si es necesario.

3.1.6 Seguridad y cumplimiento normativo.

- Implementación de Protocolos de Seguridad: Aplicamos los conocimientos sobre seguridad eléctrica para implementar y seguir protocolos que aseguren la protección del personal y la integridad de los equipos.
- Cumplimiento de Normativas: Nos aseguramos de que todas las instalaciones y pruebas cumplan con las normativas locales e internacionales relacionadas con la operación de subestaciones.

3.1.7 Optimización y mejora continua.

- Análisis de Rendimiento: Aplicamos técnicas de análisis para identificar posibles áreas de mejora en el diseño o funcionamiento de la subestación móvil.
- Sugerencias de Mejora: Proponemos mejoras basadas en la experiencia y el análisis para optimizar la eficiencia y la fiabilidad de la subestación.

3.1.8 Comprensión integral de los sistemas eléctricos.

- Diagramas unifilares: Capacidad para interpretar y comprender los diagramas unifilares, que son la representación gráfica de la conexión de los equipos eléctricos en una subestación.
- Protección de sistemas eléctricos: Conocimiento de los principios de funcionamiento de los relés de protección y los dispositivos de coordinación, lo que permite configurar adecuadamente los sistemas de protección de la subestación.
- Calidad de la energía: Conocimiento de los parámetros de calidad de la energía y las herramientas para medirlos, lo que permite garantizar que la energía suministrada por la subestación cumpla con los estándares establecidos.

3.1.9 Diseño y selección de equipos.

- Selección de equipos: Capacidad para seleccionar los equipos eléctricos adecuados como transformadores, interruptores, etc. en función de las características del sistema y los requerimientos del proyecto.
- Dimensionamiento de conductores: Conocimiento de los criterios para seleccionar la sección de los conductores eléctricos, considerando la corriente nominal, la caída de tensión y las condiciones ambientales.
- Diseño de sistemas de puesta a tierra: Capacidad para diseñar sistemas de puesta a tierra efectivos, considerando las normas y estándares aplicables.

Figura 4

Pegado de tags en pararrayos de 90kv y entrada de transformador

Nota. Modelo de pegado tags en pararrayos de 90kv y entrada de transformador el cual es utilizado en el lugar de trabajo southern Perú. Fuente (Corporation, 2021).

3.1.10 Instalación y conexión de equipos.

- Alineamiento y nivelación: Conocimiento de los procedimientos para alinear y nivelar los equipos, asegurando un funcionamiento correcto y prolongando su vida útil.
- Conexión de conductores: Capacidad para realizar conexiones eléctricas seguras y eficientes, utilizando los materiales y herramientas adecuados.
- Instalación de dispositivos de protección: Conocimiento de los procedimientos para instalar y configurar los dispositivos de protección, como relés, interruptores y seccionadores.

3.1.11 Gestión de Proyectos.

- Planificación y organización: Capacidad para planificar y organizar las actividades de montaje y pruebas, estableciendo un cronograma y asignando los recursos necesarios.
- Control de calidad: Conocimiento de los procedimientos de control de calidad para garantizar que el trabajo se realice de acuerdo con las especificaciones técnicas y los estándares de calidad.

En resumen, como bachiller en Ingeniería Mecánica Eléctrica, mi aporte fue un conjunto de conocimientos y habilidades que son fundamentales para el éxito del montaje y pruebas de una subestación móvil. La formación integral nos permite abordar los desafíos técnicos y garantizar la calidad y seguridad de la instalación.

3.2 Desarrollo de experiencias

La realización del montaje y pruebas de la subestación móvil de 2.5 MVA, 69/13.8 kV proporciona una serie de experiencias valiosas que pueden enriquecer el conocimiento

y las habilidades de los involucrados. A continuación, se detallan algunas de estas experiencias:

3.2.1 Experiencias prácticas en el campo.

El conocimiento práctico de equipos, la familiarización con el funcionamiento y la operación de transformadores, interruptores, seccionadores y otros equipos eléctricos, me ayudaron a desarrollar habilidades prácticas en la instalación y conexión de equipos eléctricos, así como en la manipulación de herramientas específicas, como son:

3.2.1.1 Resolución de problemas.

- Identificación de Fallas: Aprendizaje sobre cómo identificar y solucionar problemas que puedan surgir durante el montaje o pruebas, fortaleciendo las habilidades de análisis y diagnóstico.
- Adaptación a Situaciones Inesperadas: Experiencia en la gestión de imprevistos y en la adaptación de planes para garantizar el éxito del proyecto.

3.2.1.2 Gestión de proyectos.

- Planificación y Organización: Mejora en la capacidad de planificar y organizar tareas, recursos y cronogramas, vital para el éxito de proyectos futuros.
- Trabajo en Equipo: Desarrollo de habilidades de comunicación y colaboración al trabajar con otros ingenieros y técnicos, fomentando un ambiente de trabajo eficaz.

3.2.1.3 Seguridad y cumplimiento normativo.

- Conciencia de Seguridad: Aprendizaje sobre la importancia de seguir protocolos de seguridad eléctrica y normativas, lo que contribuye a una cultura de seguridad en el trabajo.

- Conocimiento de Normativas: Familiarización con las normativas y estándares aplicables a instalaciones eléctricas, mejorando la comprensión sobre su implementación.

3.2.1.4 Pruebas y verificación.

- Habilidades de Medición: Desarrollo de competencias en mediciones eléctricas, análisis de resultados y verificación del cumplimiento de especificaciones técnicas.
- Protocolos de Pruebas: Experiencia en la elaboración y ejecución de protocolos de prueba, lo que es crucial para garantizar la fiabilidad de la instalación.

3.2.1.5 Experiencias operativas.

- Familiarización con la subestación: El personal operativo debe familiarizarse con el funcionamiento de la subestación móvil, sus características y procedimientos operativos.
- Optimización de los procesos de montaje y desmontaje: Las pruebas pueden ayudar a optimizar los procesos de montaje y desmontaje de la subestación, lo que reduce los tiempos de inactividad y mejora la eficiencia.
- Evaluación de la logística de la subestación: Las pruebas pueden proporcionar información valiosa sobre la logística de transporte, instalación y operación de la subestación móvil en diferentes ubicaciones.
- Adaptación a las condiciones del terreno: La subestación móvil puede ser instalada en diferentes terrenos, por lo que es importante evaluar su adaptabilidad a las condiciones específicas de cada ubicación.

3.2.1.6 Documentación y reporte.

- Redacción Técnica: Mejora en las habilidades de documentación técnica al registrar resultados de pruebas, observaciones y recomendaciones.
- Análisis de Resultados: Aprendizaje en la interpretación de datos y en la elaboración de informes que sintetizan los hallazgos de las pruebas.

3.2.1.7 Optimización y mejora continua.

- Evaluación de Desempeño: Experiencia en la evaluación del rendimiento de la subestación y la identificación de oportunidades para la mejora continua.
- Propuestas de Mejora: Desarrollo de la capacidad para sugerir mejoras basadas en la experiencia práctica, lo que puede impactar positivamente en futuros proyectos.

3.2.1.8 Desarrollo profesional.

- Crecimiento Personal: Incremento en la confianza y la autoestima al enfrentar y superar desafíos técnicos.
- Preparación para el Mercado Laboral: Fortalecimiento del currículum con experiencia práctica relevante que puede ser valiosa al buscar oportunidades laborales en el campo de la ingeniería eléctrica.

En resumen, el montaje y pruebas de una subestación móvil no solo brindan experiencia técnica, sino que también desarrollan habilidades críticas en la gestión de proyectos, trabajo en equipo y cumplimiento normativo.

3.2.2 Procedimiento del montaje y pruebas de la subestación móvil.

3.2.2.1 Montaje de la subestación móvil 2.5 MVA.

- Se efectuó el montaje de la plataforma y escalera de acceso en el lado del pórtico.
- Se realizó el montaje de la plataforma y escalera de acceso en el lado de la caseta.
- Se hizo el montaje del pórtico y crucetas del pórtico.
- Se realizó el montaje del bastidor, soporte de portafusible.
- Se efectuó el montaje de panel de control del mecanismo seccionador motorizado
- 125 VDC y el panel para botonera de accionamiento remoto.
- Se realizó el montaje y conexionado de luces estroboscópicas de apertura y cierre.
- Se concluyó el montaje y conexionado de reflector y de la fotocélula.
- Se realizó el montaje de aisladores portafusibles, bastidor de seccionador de línea y tierra.
- Se terminó el montaje de aisladores portafusibles, tijerales de bastidor, bastidor de seccionador de línea y tierra.
- Se realizó el montaje y regulación del mecanismo de seccionador de línea y tierra.
- Se llevó a cabo el montaje de tuberías de cobre en salida de portafusible hacia pararrayos y montaje de tuberías de cobre en seccionador de línea y tierra.
- Se realizó el montaje de bloqueo mecánico de seccionador de línea y tierra.

- Se hizo el montaje de los fusibles de PTs 13.8 / 0.12 KV y de los fusibles de CPT1 de 13.8 / 0.24 KV.
- Se concluyó el armado y montaje de fusibles en el lado de 69 KV.
- Se realizaron pruebas de resistencia de aislamiento del Panel de Distribución 240-120 VAC y Panel de Corriente Continua 125 VDC.
- Se efectuaron pruebas de resistencia de aislamiento en los transformadores de control CPT1 y CPT2.
- Se hicieron pruebas de resistencia de aislamiento en los transformadores de potencial PT1 y PT2.
- Se realizaron pruebas de resistencia de aislamiento del interruptor de Potencia VCB1 y VCB2.
- Se desarrollaron pruebas de resistencia de aislamiento en el conector de salida VCB1 y VCB2.
- Se realizaron pruebas de cierre y apertura del seccionador de línea mecánico manual y eléctricamente a través del panel de forma local y remoto.
- Se efectuó la verificación e inspección del mecanismo interno de los interruptores VCB1 y VCB2.
- Se hizo la verificación de encendido de luces estroboscópicas de cierre y apertura de interruptores, encendido de iluminación lado del pórtico, encendido de iluminación del panel VCB1 y VCB2 y verificación de encendido de iluminación interna del interruptor VCB1 y VCB2.

3.2.2.2 Cambio de posición del seccionador de la Subestación Móvil.

- Se realizó el desconexionado y retiro del cableado de control de tablero motorizado de sección de línea.

Figura 5

Maniobra de accionamiento cierre y apertura de Seccionador

Nota. El ingeniero realizando la maniobra de accionamiento cierre y apertura de Seccionador para empezar el desmontaje de la subestación. Fuente (Corporation, 2021).

- Se efectuó el desconexionado y retiro de cableado de tablero motorizado del seccionador de línea.
- Se realizó el desconexionado de iluminación exterior del pórtico.
- Se ejecutó el desmontaje de pararrayos.

- Se realizó el desmontaje de tuberías de cobre de la salida del portafusible.
- Se procedió al desmontaje de switch de posición de seccionador de línea.
- Se realizó el desmontaje de tablero motorizado del seccionador de línea.
- Se desarrolló el desmontaje del tablero de mando motorizado a distancia del
- seccionador de línea.
- Se llevó a cabo el desmontaje de soportes de interruptor de iluminación exterior del
- pórtico.
- Se realizó el retiro de cableado de aterramiento de los pórticos y del sistema de pararrayos.
- Realizamos el desmontaje de tuberías de cobre de la salida del seccionador de línea y portafusible.
- Se llevó a cabo el desmontaje de tuberías de cobre entre seccionador de línea y seccionador de tierra.
- Se realizó el desmontaje de mando de seccionador de línea y el mando de seccionador de tierra.
- Efectuamos el cambio de aislador en base de pararrayos.
- Se realizó el desmontaje de bastidor de seccionador de línea y seccionador de tierra.
- Hicimos el desmontaje de bastidor del portafusible.
- Se realizó el corte de cartelas para templadores de pórticos lado superior.
- Se hizo el trazado y apuntalado de cartelas en tubos de pórticos para templadores.

- Se efectuó el retiro de ángulos de amarre en lado de templadores de pórticos.
- Se realizó el desempernado y desmontaje de pórticos.
- Realizamos el cambio de posición y montaje de pórtico de subestación móvil.
- Se realizó el montaje de templador de pórtico.
- Se realizó el apuntalado de cartelas en pórtico de subestación.
- Concluimos de manera satisfactoria el montaje y empernado de bastidor.
- Se realizó el montaje de templadores de bastidor.
- Efectuamos con éxito el montaje de pararrayos.
- Se realizó la reubicación de soportes de mandos de seccionado de línea.
- Realizamos el desmontaje de tubos de mandos de seccionadores de línea y tierra.
- Se realizó el montaje de soportes de aisladores laterales en pórtico de subestación.
- Efectuamos exitosamente el montaje de seccionador de línea.
- Se realizó el montaje y empernado de seccionador de tierra y empernado de portafusibles.
- Se realizó el montaje de mandos de seccionador de línea y mandos de seccionador de tierra.
- Se realizó el montaje de mando vertical de seccionador de línea y mando vertical de seccionador de tierra.
- Ejecutamos el montaje de fusibles de alta en portafusibles de sub estación móvil.

- Se realizó desoldeo y reubicación de soportes de mando verticales de seccionador de tierra.
- Realizamos el montaje de tuberías de cobre desde el seccionador de línea y seccionador de tierra.
- Se realizó el montaje de tuberías de cobre desde el seccionador de línea y entrada de portafusibles.
- Se realizó el soldeo de soportes laterales de aisladores laterales en pórtico de subestación.
- Se hizo el apuntalado de carletas en pórticos de subestación.
- Hicimos de acuerdo a normas el soldeo de soporte de aislador central en bastidor de portafusibles de alta.
- Se realizó el montaje de aisladores laterales en pórtico de subestación móvil.
- Realizamos el montaje de aislador central en bastidor de portafusibles.
- Se realizó el soldeo de cartelas para templador de pórtico y el soldeo de soportes de mando de seccionador de tierra.
- Se realizó la reubicación de barra de aterramiento de pórtico de lado del mando del seccionador de línea.
- Se ejecutó la perforación de piso para reubicación de barra de aterramiento.
- Se realizó el torqueo de pernos en bastidor y pórtico de subestación móvil.
- Se concluyó el soldeo de soportes de seccionador de línea, el soldeo de soporte de interruptor de iluminación exterior del mando de seccionador de línea y el soldeo de soporte del switch de posición del seccionador de línea.

- Se realizó la reubicación de cartelas de soportes de ángulos centrales del pórtico de la subestación móvil.
- Se terminó el apuntalado de cartelas centrales de pórtico.
- Se realizó el corte de ángulos central del pórtico y perforación.
- Efectuamos con exito el montaje de ángulos centrales de amarre en pórtico de subestación móvil.

3.2.2.3 Pruebas eléctricas del transformador 2.5/2.8/3.5 MVA.

Según la inspección visual del transformador y sus componentes obtuvimos:

Tabla 1

Inspección visual de componentes

Ítem	Descripción	Condición	Observación
1	Sistema de anclaje al sistema de Puesta a tierra.	Bien	N/A
2	Estado de pernos, uniones y empaquetaduras.	Bien	N/A
3	Estado de los aisladores (Bushing) de AT.	Bien	N/A
4	Indicador de nivel de aceite.	Bien	N/A
5	Placa de características.	Bien	N/A
6	Presión del transformador.	Bien	N/A

Nota. Tabla redactada especificando las condiciones de los componentes de la subestación a desmontar. Fuente (Corporation, 2021).

- Se realizó la verificación de presión de nitrógeno existente en el transformador.
- Se realizó la inspección, verificación y limpieza de los bushings de AT.
- Se realizó el retiro de la tapa de los manhole del transformador.
- Se realizó el montaje y conexionado de los bushings de AT con empaquetaduras nuevas.

- Se inició de proceso de tratamiento de aceite bajo termovacío para la eliminación de humedad, gases disueltos y compuestos volátiles a una temperatura de 60°C durante 3 ciclos continuos.
- Se realizó la prueba de rigidez dieléctrica al aceite dieléctrico al finalizar el tratamiento de aceite en el transformador dando como resultado 75.5 KV.
- Se realizó la presurización del transformador con nitrógeno a 2.5 psi.
- Pruebas eléctricas al transformador:
    - SFRA (barrido de frecuencia).
    - Factor de potencia y capacitancia de los devanados.
    - Factor de potencia y capacitancia de los bushings.
    - Corriente de excitación.
    - Relación de transformación en todos los taps del conmutador.
    - Resistencia óhmica a devanados en AT, BT.
    - Resistencia de aislamiento Ip, Ia.
    - Extracción de muestra de aceite para análisis Físico - Químico, Cromatográfico.

3.2.2.4 Precomisionamiento.

- Se realizó la inspección del movimiento de la sub estación móvil 2.5MVA y el conexionado con la línea de 69KV.
- Se realizó el montaje de barras de cobre en entrada del seccionador desde el pórtico las fases L1, L2 y L3.
- Se realizó el piloteado y amarillado de circuitos de protección, medición, control 2.5MVA.

- Se realizó la inspección del montaje de tuberías de cobre desde los seccionador de tierra hacia los fusibles de alta de la sub estación 2.5MVA
- Se realizó la prueba de apertura desde el seccionador de línea con apertura de la puerta de la caseta de 13.8KV activando el limit switch.
- Se realizó la prueba eléctrica de cierre y apertura desde el tablero motorizado del seccionador de línea.
- Se realizó las pruebas de maniobra de accionamiento de cierre y apertura de seccionador de línea, con supervisión SPCC Cuajone Mantto Mina.
- Se realizó las pruebas de maniobra de accionamiento de cierre y apertura de seccionador de tierra, con supervisión SPCC Cuajone Mantto Mina.
- Se realizó las pruebas de maniobra de accionamiento de cierre y apertura de seccionador de línea a través de la palanca de tablero mecanismo de operación mecánica, con supervisión SPCC Cuajone Mantto Mina.
- Se realizó las pruebas eléctricas de cierre y apertura de seccionador de línea en modo local y remoto con supervisión SPCC Cuajone Mantto Mina.
- Se realizó las pruebas eléctricas, mecánicas disparos de interruptores Line Power 27KV, con supervisión SPCC Cuajone Mantto Mina.
- Programación de medidor ION 8650.
- Programación de relés SEL 351A.
- Pruebas de equipos en general en Subestación móvil 2.5MVA.

3.2.2.5 Comisionamiento.

- Se realizó las pruebas con energía de accionamiento de cierre y apertura de seccionador de línea, con supervisión SPCC Cuajone Mantto Mina.

- Se realizó las pruebas con energía de accionamiento de cierre, apertura y disparo del seccionador de línea a través de la palanca de tablero mecanismo de operación mecánica, con supervisión SPCC Cuajone Mantto Mina.
- Se realizó las pruebas eléctricas con energía de cierre y apertura de seccionador de línea en modo local y remoto, con supervisión SPCC Cuajone Mantto Mina.
- Se realizó las pruebas eléctricas con energía y disparos de interruptores Line Power 27KV, con supervisión SPCC Cuajone Mantto Mina.
- Se realizó las pruebas de monitoreo de relés de protección y medidor ION con supervisión de SPCC Cuajone Mantto Mina.

Figura 6

Prueba de resistencia de aislamiento del transformador

Nota. Momento el cual nos muestra la prueba de resistencia de aislamiento del trasformador en acción. Fuente (Corporation, 2021).

3.2.3 Recursos humanos.

Para ejecutar el montaje y pruebas de una subestación móvil de 2.5 MVA – 69/13.8 kV en un asiento minero, es necesario contar con un equipo multidisciplinario. Aquí te detallo el personal que típicamente se requiere:

- Ingeniero Electromecánico: Responsable de la supervisión general del montaje y pruebas, asegurando que todo se realice conforme a las normas técnicas.
- Técnicos en Electrónica y Electricidad**:** Para la instalación y conexión de equipos eléctricos, como transformadores, interruptores y sistemas de protección.
- Ingeniero en Seguridad**:** Para garantizar que se cumplan las normas de seguridad y salud en el trabajo, especialmente en un entorno minero.
- Personal de Montaje**:** Obreros capacitados en la manipulación y ensamblaje de estructuras y equipos eléctricos.
- Técnicos en Pruebas Eléctricas**:** Especialistas en realizar pruebas de aislamiento, pruebas de carga, y verificar el correcto funcionamiento de la subestación.
- Personal de Logística**:** Para la gestión del transporte y la disposición adecuada de los materiales y equipos.
- Operadores de Equipos Pesados**:** Si se requieren grúas o maquinaria para la instalación de componentes grandes.

3.2.4 Equipos de protección personal.

Para el montaje y pruebas de una subestación móvil de 2.5 MVA – 69/13.8 kV en un asiento minero, se necesitan los siguientes equipos de protección personal (EPP):

- Casco de seguridad: Para proteger la cabeza de golpes y caídas.
- Guantes aislantes: Para trabajar con equipos eléctricos y evitar descargas.
- Botas de seguridad: Con punta de acero y suela antideslizante.
- Gafas de protección: Para resguardar los ojos de partículas voladoras.
- Protectores auditivos: En caso de trabajar en ambientes ruidosos.
- Ropa de trabajo ignífuga: Para protegerse de arcos eléctricos y otros riesgos térmicos.
- Mascarillas o respiradores: Si hay exposición a polvo o sustancias nocivas.
- Arnés de seguridad: Si se requiere trabajar en alturas.

3.2.5 Materiales, equipos y herramientas.

Para el montaje y pruebas de una subestación móvil de 2.5 MVA – 69/13.8 kV, se requieren los siguientes equipos, materiales y herramientas:

3.2.5.1 Equipos.

- Transformador: 2.5 MVA – 69/13.8 kV.
- Interruptores: Para la protección del sistema.
- Seccionadores: Para desconectar circuitos.
- Fusibles: Para protección adicional.
- Paneles de control: Para monitoreo y operación.
- Sistema de tierra: Electrodos y conexiones.

3.2.5.2 Materiales.

- Cables eléctricos: Adecuados para las conexiones de alta tensión.
- Tuberías de PVC: Para protección de cables.
- Aisladores: Para soportar los conductores.

- Conectores: Para uniones eléctricas seguras.
- Equipo de puesta a tierra: Varillas y cintas de cobre.

3.2.5.3 Herramientas.

- Llaves de torque: Para ajustar conexiones eléctricas.
- Multímetros: Para mediciones eléctricas.
- Medidores de aislamiento: Para verificar la resistencia del aislamiento.
- Taladros: Para fijaciones en la estructura.
- Cortadores de cable: Para manipulación de conductores.
- Crimpadoras: Para unir conectores a cables.
- Elevadores o grúas: Para mover equipos pesados.

3.2.6 Presentación de los resultados.

El montaje y puesta en marcha exitosa de una subestación móvil de 2.5 MVA – 69/13.8 kV en el asiento minero de Toquepala debería resultar en una serie de beneficios significativos para las operaciones mineras.

3.2.6.1 Beneficios directos para la operación minera.

- Mayor confiabilidad en el suministro eléctrico: La subestación móvil proporciona una fuente de energía adicional y redundante, lo que reduce el riesgo de interrupciones en el suministro eléctrico debido a fallas en la red principal.
- Aumento de la capacidad de producción: Con una fuente de energía adicional y confiable, se pueden operar más equipos y maquinaria, lo que se traduce en un aumento de la producción minera.

- Mayor flexibilidad operativa: Las subestaciones móviles pueden ser trasladadas a diferentes ubicaciones dentro del yacimiento minero, lo que permite adaptar la distribución de energía a las necesidades cambiantes de la operación.
- Reducción de costos: Al evitar interrupciones prolongadas en la producción y al optimizar la distribución de energía, se pueden reducir los costos operativos de la mina.
- Mejora de la seguridad: Un suministro eléctrico confiable y estable contribuye a mejorar las condiciones de trabajo y reduce el riesgo de accidentes eléctricos.

3.2.6.2 Beneficios específicos para el asiento minero.

- Electrificación de nuevas áreas: La subestación móvil puede suministrar energía a nuevas áreas del yacimiento minero que antes no estaban electrificadas, lo que permite expandir las operaciones y acceder a nuevos recursos minerales.
- Apoyo a proyectos de expansión: La subestación móvil puede proporcionar la energía necesaria para proyectos de expansión, como la apertura de nuevas frentes de trabajo o la instalación de nueva maquinaria.
- Respuesta rápida a contingencias: En caso de emergencias o desastres naturales, la subestación móvil puede ser utilizada para restablecer el suministro eléctrico de manera rápida y eficiente.

3.2.6.3 Resultados de las pruebas.

Además de los beneficios operativos, las pruebas de la subestación móvil deben verificar:

- Funcionamiento correcto de todos los equipos: Transformadores, interruptores, relés de protección, etc., deben operar según las especificaciones del fabricante y los estándares de seguridad.
- Cumplimiento de los niveles de aislamiento: Los equipos deben soportar las tensiones y corrientes nominales sin sufrir daños.
- Coordinación de la protección: Los dispositivos de protección deben operar de manera coordinada para garantizar la seguridad de las personas y equipos.
- Conformidad con las normas y regulaciones: La subestación móvil debe cumplir con todas las normas y regulaciones aplicables, tanto a nivel nacional como internacional.

En resumen, la implementación de una subestación móvil en un asiento minero representa una inversión estratégica que puede generar importantes beneficios a corto y largo plazo.

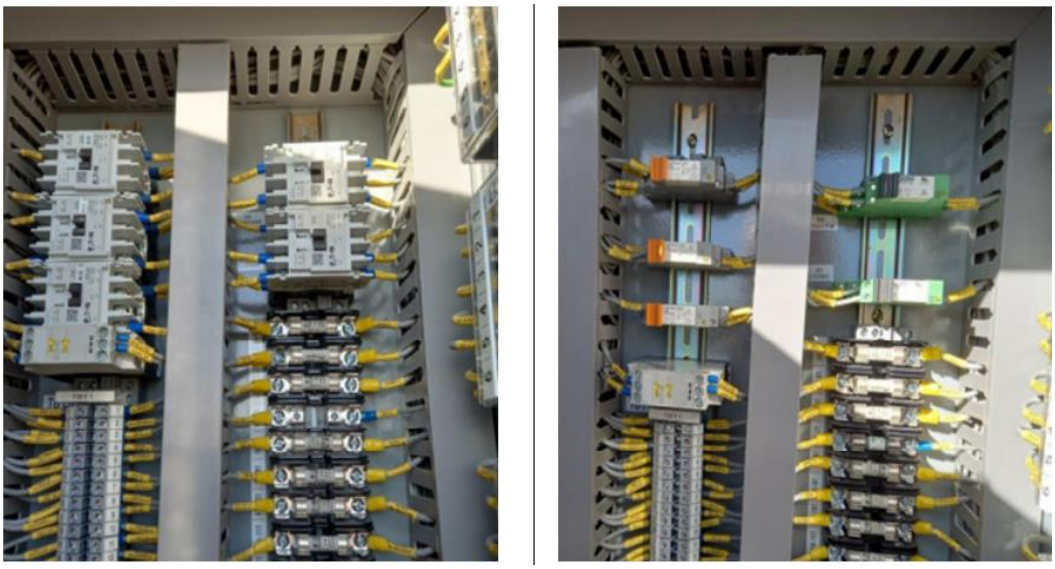
Figura 7

Soldeo, limpieza de soportes y cartelas, base de tablero motorizado.

Nota. Momento en el cual los técnicos realizan los trabajos de soldeo, limpieza de soportes y carteles, en la base del tablero motorizado. Fuente (Corporation, 2021).

Figura 8

Cambio de contactores del control en los interruptores.



Nota. El antes y después del panel de control, donde se realiza el correspondiente cambio de contactores de los interruptores. Fuente (Corporation, 2021).

CONCLUSIONES

Primera. Verificación del cumplimiento de los objetivos: Se debe confirmar si la subestación móvil ha logrado los objetivos planteados inicialmente, como mejorar la confiabilidad del suministro eléctrico, aumentar la capacidad de producción, y brindar mayor flexibilidad operativa.

Segunda. Evaluación del desempeño de los equipos: Es necesario evaluar el rendimiento de cada componente de la subestación, desde el transformador principal hasta los dispositivos de protección, para identificar posibles áreas de mejora.

Tercera. Análisis de los resultados de las pruebas: Los datos obtenidos durante las pruebas permitirán verificar la conformidad de la subestación con los estándares de seguridad y calidad, y detectar cualquier desviación que requiera atención.

Cuarta. Identificación de oportunidades de mejora: La evaluación debe enfocarse en identificar aspectos que puedan optimizarse, como la eficiencia energética, la facilidad de mantenimiento, y la integración con los sistemas existentes.

RECOMENDACIONES

Primera. Monitoreo continuo: Implementar un sistema de monitoreo en línea para supervisar las condiciones de operación de la subestación y detectar cualquier anomalía de manera temprana.

Segunda. Mantenimiento preventivo: Establecer un programa de mantenimiento preventivo riguroso para prolongar la vida útil de los equipos y minimizar el riesgo de fallas inesperadas.

Tercera. Capacitación del personal: Asegurar que el personal encargado de operar y mantener la subestación esté debidamente capacitado para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.

Cuarta. Actualización de la documentación: Mantener actualizada la documentación técnica de la subestación, incluyendo diagramas de conexión, procedimientos de operación y registros de mantenimiento.

Quinta. Evaluación periódica: Realizar evaluaciones periódicas del desempeño de la subestación para identificar nuevas oportunidades de mejora y adaptarse a los cambios en las necesidades de la operación minera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Harper, G. E. (2005). *Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas.* Limusa.

Iberdrola. (s.f.). *Subestaciones eléctricas*. Recuperado de https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/smart-grids/subestaciones-electricas

Ojeda, R. C. (2016). *IEEE Std 141-1993 IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants Power Systems Engineering Committee of the Industrial and Commercial Power Systems Department of the IEEE Industry Applications Society IEEE Standards Board*. Recuperado de https://www.academia.edu/25993056/IEEE_Std_141_1993_IEEE_Recommended_Practice_for_Electric_Power_Distribution_for_Industrial_Plants_Power_Systems_Engineering_Committee_of_the_Industrial_and_Commercial_Power_Systems_Department_of_the_IEEE_Industry_Applicat

Reinoso, F. B. (2014). *Mantenimiento Transformadores*. Recuperado de https://www.academia.edu/8290847/MANTENIMIENTO_TRANSFORMADORES

Roger C. Dugan, M. F. (1996). *Electrical Power Systems Quality.* Mc Graw -Hill. .

Sáenz, E. M. (2013). *Transformadores Eléctricos: Principios, Análisis y Cálculo Electromagnético.* Universidad del Valle.

Santiago Barcón, R. G. (2012). *Calidad de la energía. Factor de potencia y filtrado de armónicas.* Mc Graw Hill.

T&D Electric. (17 de Enero de 2023). *Conoce los elementos que componen una subestación eléctrica*. Recuperado de https://tydelectric.com/elementos-componen-subestacion-electrica/

UNE-EN 50160. (2001). *Característica de la tensión suministrada por las redes generales de distribución.* AENOR.

Yungan, E. (17 de Abril de 2024). *Subestaciones eléctricas componentes principales.pptx*. Recuperado de https://es.slideshare.net/slideshow/43-subestaciones-elctricas-componentes-principales-pptx/267310904