

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Trabajo de Suficiencia Profesional

**Implementación de una subestación en la
unidad minera Sierra Sumaq Rumi - Sierra Poli,
2023**

Percy Clifor Cruz Agustin

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de suficiencia profesional



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Ma. Alex Estanislao Galván Quispe
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 4 de Octubre de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Implementación de una subestación en la Unidad Minera Sierra Sumaq Rumi – Sierra Poli, 2023

Autor:

Percy Clifor Cruz Agustín – EAP. Ingeniería Industrial

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 16 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

Asesor

Mg. Alex Estanislao Galván Quispe

Agradecimientos

A Dios,
por guiarme en el sendero de la luz.

A mis padres y familiares,
por el apoyo incondicional para alcanzar mis objetivos.

A mi *alma mater* y mi facultad,
por todos los conocimientos brindados que me ayudaron
a desempeñarme profesionalmente.

A Sierra Sun Group,
por el apoyo brindado que hizo posible
la realización de este informe.

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo a mis padres y a mi familia, ya que me apoyaron incondicionalmente en mi formación. Gracias por guiarme siempre para alcanzar mis objetivos.

Índice

Resumen.....	xi
Introducción	xii
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA.....	13
1.1. Datos generales de la empresa	13
1.1.1. Razón social	13
1.1.2. Titular.....	13
1.1.3. Dirección fiscal	13
1.1.4. Registro único tributario	13
1.1.5. Régimen tributario	14
1.1.6. Tipo de empresa	14
1.1.7. Inicio de operaciones	14
1.2. Actividades principales de la institución y/o empresa	14
1.3. Reseña histórica de la institución y/o empresa	14
1.4. Organigrama de la institución y/o empresa.....	16
1.5. Visión y misión	17
1.6. Bases legales o documentos administrativos	17
1.7. Descripción del área donde realiza sus actividades profesionales	18
1.8. Descripción del cargo y de las responsabilidades del bachiller en la institución y/o empresa	18
CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES.....	20
2.1. Antecedentes o diagnóstico situacional	20
2.2. Identificación de oportunidad o necesidad en el área de actividad profesional	23
2.3. Objetivos de la actividad profesional.....	24
2.3.1. Objetivo general	24
2.3.2. Objetivos específicos	24
2.4. Justificación de la actividad profesional.....	25
2.5. Resultados esperados	25
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO.....	27
2.6. Bases teóricas de las metodologías o actividades realizadas	27
2.6.1. Planificación de proyectos eléctricos	27

2.6.2.	Indicadores de evaluación.....	31
2.6.3.	Ejecución de proyectos eléctricos	32
2.6.4.	Subestación eléctrica en mina	32
2.6.5.	Suministro eléctrico	37
CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES.....		40
4.1.	Descripción de actividades profesionales	40
4.1.1.	Enfoque de las actividades profesionales.....	40
4.1.2.	Alcance de las actividades profesionales	40
4.1.3.	Entregables de las actividades profesionales	40
4.2.	Aspectos técnicos de la actividad profesional.....	41
4.2.1.	Metodologías.....	41
4.2.2.	Técnicas	41
4.2.3.	Instrumentos.....	41
4.2.4.	Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades.....	42
4.3.	Ejecución de las actividades profesionales	43
4.3.1.	Cronograma de actividades realizadas	43
4.3.2.	Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales	46
CAPÍTULO V: RESULTADOS.....		61
5.1.	Resultados finales de las actividades realizadas	61
5.2.	Logros alcanzados.....	61
5.3.	Dificultades encontradas.....	69
5.4.	Planteamiento de mejoras	70
5.4.1.	Metodologías propuestas	70
5.4.2.	Descripción de la implementación	70
5.5.	Análisis.....	73
5.6.	Aporte del bachiller en la empresa y/o institución.....	74
5.7.	Comparacion de costo de implementación de la subestación	75
CONCLUSIONES		78
RECOMENDACIONES.....		79
BIBLIOGRAFÍA		80
ANEXOS		82

Índice de Tablas

Tabla 1. Equipos y materiales usados en las actividades.....	42
Tabla 2. Cronograma de actividades.....	43
Tabla 3. Costos por corte de energía.....	63
Tabla 4. Registro de energía	64
Tabla 5. Caída de tensión antes y después de la implementación	68
Tabla 6. Costo de implementación de Corporación Anback S.R.L.	69
Tabla 7. Comparación de costos de implementación.....	75

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación del lugar de estudio	13
Figura 2. Organigrama del Área de Mantenimiento	16
Figura 3. Formaciones rocosas en la mina	20
Figura 4. Cableado eléctrico en socavón	21
Figura 5. Iluminación en interior del socavón	21
Figura 6. Promedio de reposición y caída del voltaje.....	22
Figura 7. Diagrama de Ishikawa	24
Figura 8. Recuperación de postes de concreto.....	46
Figura 9. Recuperación del cable de aluminio de 120 mm	47
Figura 10. Flechado de los postes de concreto	47
Figura 11. Instalación de <i>bushings</i>	48
Figura 12. Izaje y tendido del conductor eléctrico.....	48
Figura 13. Instalación de <i>cut-out</i>	49
Figura 14. Traslado del conductor de media tensión tetrapolar	50
Figura 15. Construcción de la CA-555	50
Figura 16. Shotcreteado de paredes y techo.....	51
Figura 17. Encofrado del piso y cunetas de la subestación.....	51
Figura 18. Construcción de poza a tierra 1	52
Figura 19. Construcción de poza a tierra 2	52
Figura 20. Construcción del techo de la subestación	53
Figura 21. Fabricación del pórtico e instalación del transformador	53
Figura 22. Traslado de la celda de media tensión.....	54
Figura 23. Construcción del portón principal de la subestación	54
Figura 24. Puesta de letreros preventivas	55
Figura 25. Terminaciones termocontraíbles y autocontraíbles	55
Figura 26. Conexión de los cables de media y baja tensión en la subestación	56
Figura 27. Ingreso del cable de media tensión desde la superficie	56
Figura 28. Conexión del cable de media tensión a las fases de la celda.....	57
Figura 29. Bloqueo de la subestación del NV 0.....	58
Figura 30. Energización de la subestación en el NV 0	59
Figura 31. Subestación culminada	60
Figura 32. Transformador de 500 kVA.....	65
Figura 33. Medición de los tableros de control de los equipos.....	65
Figura 34. Medición de los tableros de control de las tres líneas de fase.	66
Figura 35. Instalación de conductor de $3 \times 95 \text{mm}^2 + 1 \times 50 \text{mm}^2$ en celda de MT.....	67

Resumen

La Unidad Minera Sumaq Rumi forma parte del grupo Sierra Sun Group y se encuentra ubicada en San José de Quero, Concepción, Junín. Dicha empresa fue adquirida en mayo de 2019 a Trafigura y procesa alrededor de 500 toneladas diarias de zinc mediante minería subterránea mecanizada. La empresa tiene planes de expansión, proyectando aumentar su capacidad a 1000 toneladas diarias (1). Sin embargo, la unidad minera tuvo dificultades en la distribución y capacidad eficiente del suministro eléctrico en las zonas de profundización debido al incremento de equipos eléctricos durante el desarrollo de las operaciones mineras, puesto que se superó la capacidad de suministro de energía existente en los circuitos eléctricos, lo cual generó interrupciones y sobrecostos, debido al gasto de energía y a la disminución en la productividad. Por tanto, se desarrollaron actividades relacionadas con la planificación de proyectos eléctricos. En ese contexto, el objetivo central de este informe fue describir la implementación de una subestación de 500 kVA (kilovolamperio) en la ubicación XC-849 (ubicación o punto 849), CA-555 (subestación 555), del NV. +40 (nivel +40), con el fin de garantizar el suministro eléctrico en la Unidad Minera Sumaq Rumi. En los resultados se destacan beneficios como la reducción de caídas de tensión pasando de 395,625 V a 150 V; reducción de pérdidas de energía, pasando de 422 V a 204 V, y la solución al problema de recalentamiento de conductores, al instalar conductores de $3 \times 95 \text{ mm}^2 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$ y con costo de implementación de \$59 285,71. En conclusión, la implementación del proyecto de instalación de la subestación generó mejoras en la eficiencia de distribución de energía en la zona de extracción y producción de la mina.

Palabras clave: subestación, suministro eléctrico, planificación y ejecución de proyectos.

Introducción

Frente al desarrollo creciente de la actividad minera en la organización, es importante el mantenimiento mecánico y eléctrico, los cuales permiten identificar situaciones críticas y plantear soluciones adecuadas y eficientes según las necesidades de la empresa. Es decir, planificar y ejecutar proyectos como la instalación de una subestación eléctrica es necesario para mejorar la distribución de la electricidad, ahorrar costos y mejorar la productividad al disminuir el tiempo de inactividad de los equipos. De esta manera, se contribuye con las actividades y el crecimiento de la unidad minera.

Este proyecto no solo aborda la necesidad de garantizar un suministro eléctrico estable y confiable en una de las áreas más críticas de la mina, sino que también genera importantes beneficios en términos económicos, al reducir los costos, y en términos operativos, al mejorar la eficiencia operativa y fortalecer la seguridad en las operaciones.

Entonces, el propósito fue describir la instalación de la subestación de 500 kVA (kilovolamperio) en XC-849, CA-555, del NV. +40, que se efectuó para asegurar el suministro eléctrico en la unidad minera. El trabajo está estructurado en cinco capítulos.

En el Capítulo I se presentan los datos generales de la empresa, sus principales actividades y su historia. También se muestran el organigrama, la visión y la misión, y las bases legales, así como una descripción del área donde se realizaron las actividades profesionales, el cargo y las responsabilidades.

El Capítulo II está conformado por el diagnóstico situacional, las necesidades u oportunidades, los objetivos, la justificación de la actividad profesional del bachiller y los resultados esperados.

Por su parte, en el Capítulo III se encuentran el marco teórico y las bases teóricas en las cuales se sustenta y respalda el presente trabajo de suficiencia profesional.

En tanto, el Capítulo IV presenta el enfoque, el alcance y los entregables de la actividad profesional, además de los aspectos técnicos como metodologías, técnicas, instrumentos y equipos. Asimismo, también incluye el cronograma de ejecución y la secuencia operativa de la propuesta a implementar.

En el Capítulo V se exponen los resultados, los logros, las dificultades, las mejoras, el análisis y el aporte del trabajo.

Finalmente, se presentan las conclusiones, las recomendaciones, la bibliografía y los anexos.

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA

1.1. Datos generales de la empresa

1.1.1. Razón social

La razón social de la empresa es Sierra Sun Group S.A.C.

1.1.2. Titular

El titular es Speirs Graham Alexander.

1.1.3. Dirección fiscal

La dirección es av. El Derby 055, Torre 1, oficina 301, Santiago de Surco.

En la Figura 1 se muestra la ubicación de las operaciones de la minera Sumaq Rumi, ubicada en el distrito de San José de Quero, provincia de Concepción, departamento de Junín.

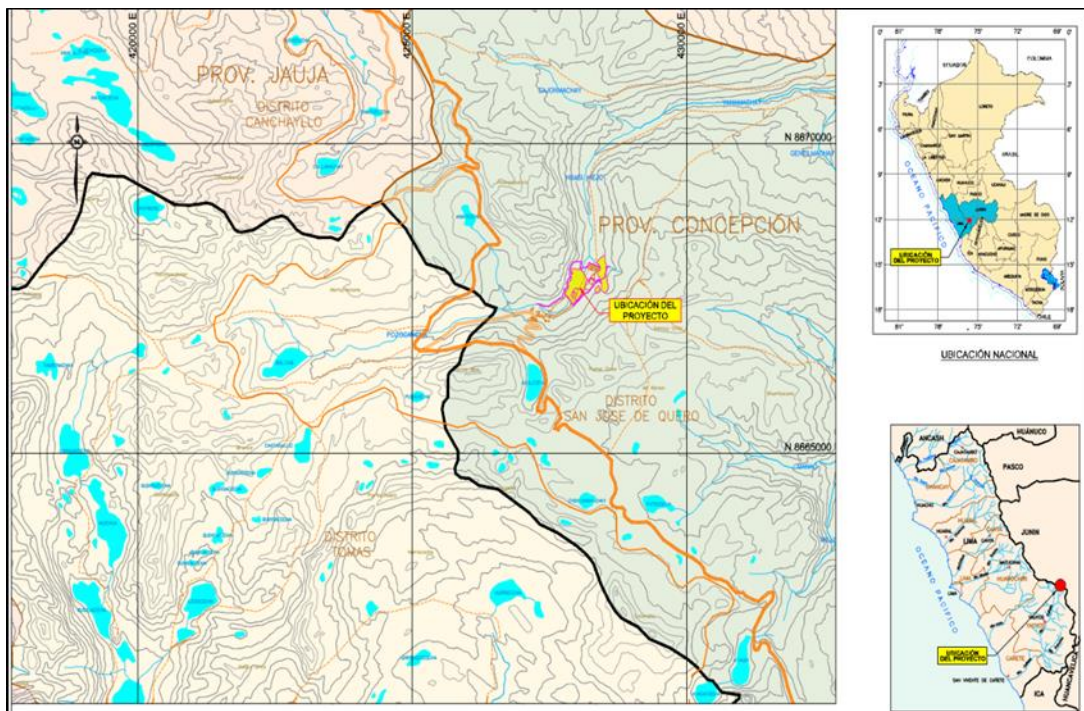


Figura 1. Ubicación del lugar de estudio. Adaptado de Mapcarta, 2023.

<https://mapcarta.com/es/20204764/Mapa>

1.1.4. Registro único tributario

El registro es RUC 20603830416.

1.1.5. Régimen tributario

La empresa está bajo el régimen general pues se realizan actividades empresariales, se emiten facturas, boletas de venta, notas de crédito y de débito. Además, se pagan tributos como impuesto a la renta (IR), impuesto general a las ventas (IGV), y se realiza la declaración anual. La cantidad de trabajadores es sin límite y existe la posibilidad de deducir gastos.

1.1.6. Tipo de empresa

Sociedad Anónima Cerrada que se conforma por dos o más personas que tienen participación en el capital:

- Speirs Graham Alexander
- Fyfe Alvarado Charles Luis

1.1.7. Inicio de operaciones

La empresa comenzó sus operaciones en 2016 como una organización fundada con capitales peruanos, arraigada en una cultura empresarial sólida que se basa en principios centrados en el cuidado del medioambiente, el respeto a las comunidades locales y, sobre todo, en la preocupación por el uso eficiente del agua.

1.2. Actividades principales de la institución y/o empresa

La empresa opera en el sector minero y tiene como actividades principales la extracción de oro y zinc. También desarrolla proyectos mineros que implican la planificación, el diseño y el desarrollo de las instalaciones y procesos mineros, además de la ejecución de proyectos de construcción en el ámbito minero, que consisten en la construcción y puesta en marcha de infraestructuras y sistemas relacionados con la minería.

1.3. Reseña histórica de la institución y/o empresa

La empresa Sierra Sun Group fue fundada en el año 2014. Se eligió la palabra “Sun” debido a que simboliza el sol que surge en cada amanecer, representando un nuevo comienzo, mientras que “Sierra” se refiere al contexto geográfico donde se ubican las unidades mineras. El tono azul del logotipo representa el recurso del agua, mientras que la onda verde simboliza el compromiso con la preservación del medioambiente (2).

Las actividades de Sierra Sun Group iniciaron brindando servicios en el sector minero por medio de Gemin Associates, firma que forma parte de esta empresa y ofrece servicios de ingeniería de gran relevancia. Posteriormente, en el año 2016, adquirieron la operación minera de oro conocida como Antapite (Huancavelica), la cual inicialmente pertenecía a Buenaventura. En abril de 2019, compraron e incorporaron la mina Azulcocha (Junín), anteriormente propiedad de Trafigura, a la que denominaron Sierra Sumaq Rumi, y la enfocaron a la extracción de zinc (2).

Durante la pandemia de Covid-19 adquirieron e incorporaron la mina Cachi Cachi, en la región de Puno, programada para entrar en operación en 2022, la cual se caracteriza por contener depósitos de oro y tierras raras. Asimismo, tienen planeado incorporar la mina de oro Doré, ubicada en Pasco, cuyo inicio de producción estuvo proyectado para el año 2024 (2).

Desde el principio, la estrategia central de la empresa consistió en confiar en los servicios de Gemin de manera permanente. En 2022, Gemin desempeñó un papel fundamental al llevar a cabo aproximadamente el 50 % de las labores de ingeniería requeridas para sus operaciones mineras, así como la ejecución de estudios esenciales. Además, para ese mismo año se planificó cotizar a Antapite en la Bolsa de Londres, encargando a Gemin realizar todos los estudios en conformidad con el riguroso estándar canadiense NI 43-101. De igual manera, Gemin asumió la responsabilidad de elaborar todos los estudios de ingeniería necesarios para las expansiones de la planta, el desarrollo y la producción de las minas. Esto ha permitido que Gemin adquiriera una valiosa experiencia en el desarrollo y la extracción minera, lo que resulta en la capacidad de ofrecer un costo por tonelada altamente competitivo, pues son escasos los contratistas que pueden llevar a cabo esta tarea de manera efectiva (2).

1.4. Organigrama de la institución o empresa

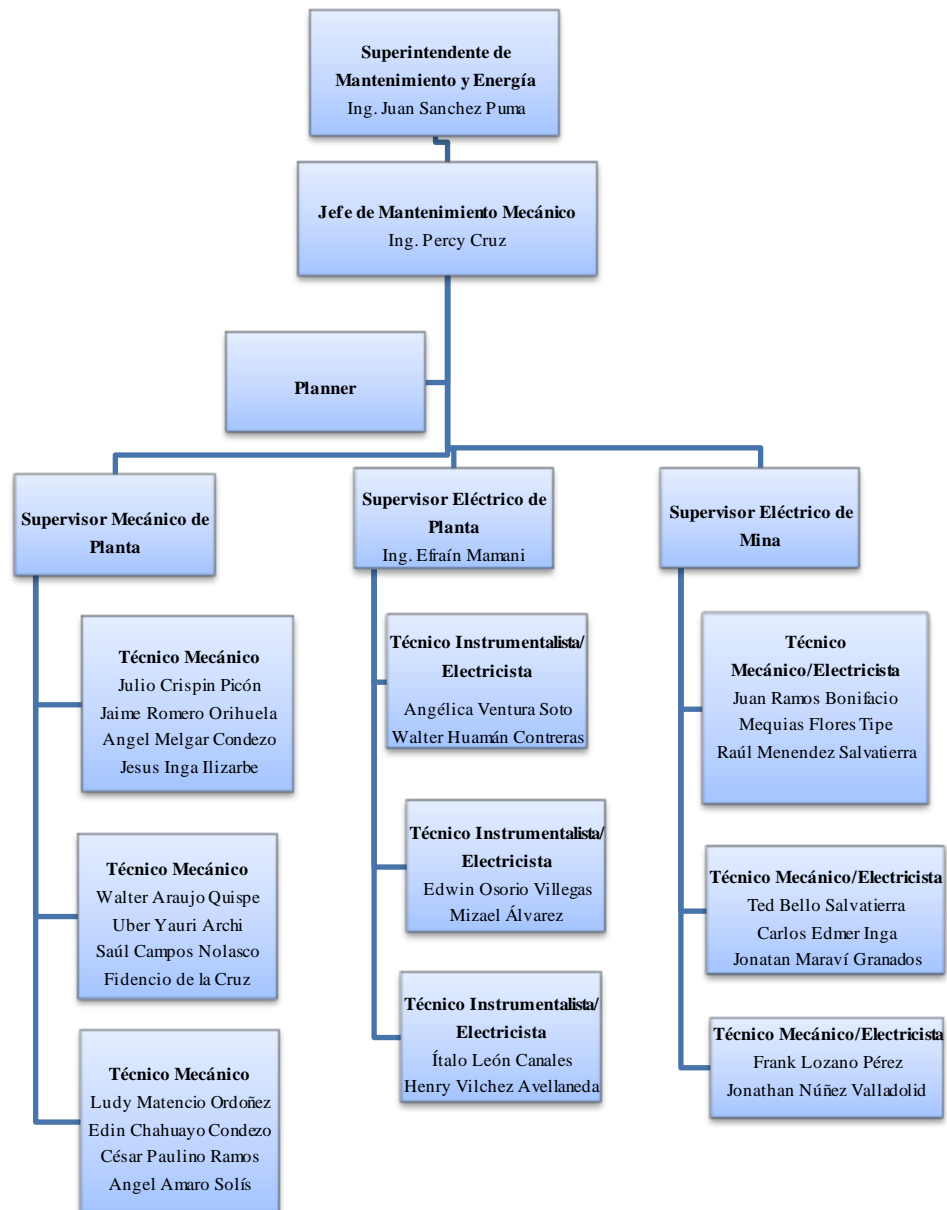


Figura 2. Organigrama del Área de Mantenimiento. Tomada de documentación de RR. HH, de la Unidad Sierra Rumi 2022 Sierra Sumaq Rumi, 2022.

En la Figura 2 se muestra el organigrama del área de mantenimiento, que está conformado por un superintendente, un jefe, un *planner*, tres supervisores y 27 eléctricos mina subestaciones. Los dos primeros supervisores se encargan del mantenimiento en planta: el primer supervisor se encarga del mantenimiento mecánico y el segundo del mantenimiento eléctrico; mientras que el último supervisor se encarga

del mantenimiento eléctrico en mina. Cada supervisor tiene personal a cargo, denominados técnicos, quienes, en función de sus responsabilidades, son de tres tipos:

- técnico mecánico,
- técnico instrumentalista/electricista,
- técnico mecánico/electricista.

1.5. Visión y misión

La visión es: “Queremos ser un referente en la minería peruana, que inspire cambios positivos en el sector de modo sostenible, especialmente en el uso responsable del agua”.

Y la misión: “Operamos y prestamos servicios en el sector minero, agregando valor a los grupos de interés”.

1.6. Bases legales o documentos administrativos

Comprende lo siguiente:

- Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería aprobado por el Decreto Supremo N.º 014-92-EM, el Estado protege y promueve la pequeña minería, minería artesanal, así como la mediana minería y gran minería.
- Norma ISO 9001:2015, permite ayudar a supervisar y gestionar continuamente la calidad de todas las empresas y poder identificar áreas a mejorar.
- Norma ISO 45001:2018, mejora de la gestión en aspectos ambientales.
- ISO 13374 respecto al monitoreo de condición y al diagnóstico que muestran las máquinas.
- R. M. N.º 308-2001-EM-VME para uso de electricidad en minas, establece la instalación y mantenimiento de los equipos eléctrico destinado a uso minero.
- D. S. N.º 023-2017-EM sobre la seguridad y salud ocupacional en minería, el fin es prevenir accidentes y enfermedades laborales, promoviendo una cultura de prevención en la actividad minera.

1.7. Descripción del área donde realiza sus actividades profesionales

Una unidad minera es un área donde se llevan a cabo operaciones de extracción de minerales, que pueden incluir actividades de exploración, explotación, procesamiento y transporte de los materiales extraídos. Las actividades fueron desarrolladas en el Área de Mantenimiento General de la Unidad Minera Sierra Sumaq Rumi. Esta área se encarga de realizar el mantenimiento mecánico y de energía en planta y en mina, supervisando y manteniendo en óptimas condiciones los equipos y sistemas mecánicos y eléctricos de las instalaciones, a fin de garantizar el funcionamiento; también realiza el mantenimiento de los sistemas eléctricos específicos de las operaciones mineras, asegurando la continuidad y seguridad.

Por tanto, se puede afirmar que el área de mantenimiento general realiza el seguimiento y la revisión constante del estado actual de los equipos, las instalaciones y otros activos no productivos, garantizando su óptimo rendimiento. Además, mejora la optimización de los recursos de la organización, enfocados en la reducción de los costos y la mejora continua.

Asimismo, se tuvo la responsabilidad de dirigir a los siguientes profesionales:

- Un *planner* de mantenimiento
- Un supervisor mecánico de planta
- Un supervisor eléctrico de planta
- Un supervisor eléctrico de mina
- Tres técnicos mecánicos
- Tres técnicos instrumentistas/eléctricos
- Tres técnicos mecánicos/ eléctricos

De esta forma, el bachiller tuvo a cargo un total de 13 personas en Superintendencia de Mantenimiento y Energía.

1.8. Descripción del cargo y de las responsabilidades del bachiller en la institución y/o empresa

El bachiller ejerció el cargo de jefe de mantenimiento mecánico, y tenía como apoyo a un *planner*, se encargaba de supervisar a tres áreas de apoyo para mejorar el funcionamiento adecuado de la empresa. Además, las responsabilidades desarrolladas fueron:

1. Supervisar y coordinar las actividades de mantenimiento mecánico en la mina y en la planta. Es decir, asignar tareas, establecer prioridades y garantizar el cumplimiento de los plazos.
2. Planificar el mantenimiento y la programación de las actividades de mantenimiento mecánico, lo cual incluye realizar el mantenimiento preventivo y correctivo para garantizar que los equipos funcionen de manera óptima y segura.
3. Trabajar con su equipo para diagnosticar y resolver problemas mecánicos en los equipos e instalaciones, con la finalidad de identificar y abordar rápidamente cualquier fallo o avería para minimizar el tiempo de inactividad.
4. Gestionar los recursos de manera eficiente (personal, materiales y herramientas) para asegurarse de disponer de los recursos adecuados para llevar a cabo las tareas de mantenimiento de manera efectiva.
5. Cumplir con las normativas de seguridad, mantenimiento y lo establecido por la empresa.
6. Identificar oportunidades de optimización de costos y proponer mejoras.
7. Registrar las actividades de mantenimiento y presentación de informes para la toma de decisiones.
8. Planificar la subestación NV +40 desde la recuperación, izado de poste y tendido de conductor hasta el empalme y energizado.

SSEE – subestación

NV – nivel

Xc – crucero

CA – cámara

kVA – kilovolamperio

MT- media tensión

CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

2.1. Antecedentes o diagnóstico situacional

La Unidad Minera Sierra Sumaq Rumi está conformada por 22 concesiones mineras y abarca 3547,8 hectáreas de superficie en su totalidad. Asimismo, posee una subestación (compresora). Su geología regional está caracterizada por diversas formaciones de rocas sedimentarias, tal como se observa en la Figura 3. Estas rocas han experimentado notables procesos de plegamiento durante el desarrollo de la orogénesis andina. Además, existen intrusiones de diques andesíticos de forma irregular, principalmente al sur de la mina y en las operaciones subterráneas. Estos aspectos geológicos desempeñan un papel crucial en la comprensión y el análisis de la geología de la zona y su impacto en las actividades mineras que desarrollan.



Figura 3. Formaciones rocosas en la mina.

En la Figura 4 se presenta la conexión o cableado típico observado en el socavón de la mina, el cual está anclado en las paredes estabilizadas del socavón y se extiende a lo largo de este.



Figura 4. Cableado eléctrico en socavón.

En la Figura 5 se muestra la generación o iluminación dentro de la mina, proporcionada por un generador eléctrico. Esta iluminación es esencial para permitir una visión adecuada de los trabajadores durante sus labores.



Figura 5. Iluminación en interior del socavón.

Las estructuras de esta mina son importantes pues influyen en su explotación, forman un depósito semitubular, con un azimut promedio de aproximadamente 90° y un buzamiento hacia el norte que oscila entre 45° y 55° . La variabilidad en la potencia del mineral económico se extiende desde los 3 metros hasta los 15 metros, con un

promedio de 8 metros. Se ha reconocido una longitud del mineral económico de 220 metros, con una profundidad registrada desde la cota de 4570 m s. n. m. hasta la cota de 4330 m s. n. m. Es importante destacar que la mina experimentó actividades de explotación hasta mediados de la década de 1980, lo que implica que el mineral ubicado por debajo de la cota cero se encuentra en estado virgen en términos de extracción minera. La distribución del mineral puede ser clasificada como gradacional, lo que tiene implicaciones significativas para la planificación y la gestión de las operaciones mineras.

Además, durante el mantenimiento de la mina se identificaron problemas con el suministro eléctrico en las zonas de extracción y producción, así como la caída de tensión en el sistema, ello ocasionó pérdidas de energía, parada constante de equipos, el recalentamiento de conductores que abastecían energía desde la subestación principal de la mina en la superficie hasta el nivel +40, el cual cubría una distancia aproximada de 1,5 kilómetros. Asimismo, en el Área de Logística se descuidó el suministro de herramientas esenciales, como las que se pueden encontrar en una ferretería.

En la Figura 6 se observan las continuas caídas de tensión producidas en los cinco meses anteriores a la implementación de una subestación, las cuales generaron pérdidas en las operaciones de producción y avance de mina (costo de \$47 381 por mes) y la continua atención por parte del área de mantenimiento para restablecer la energía.

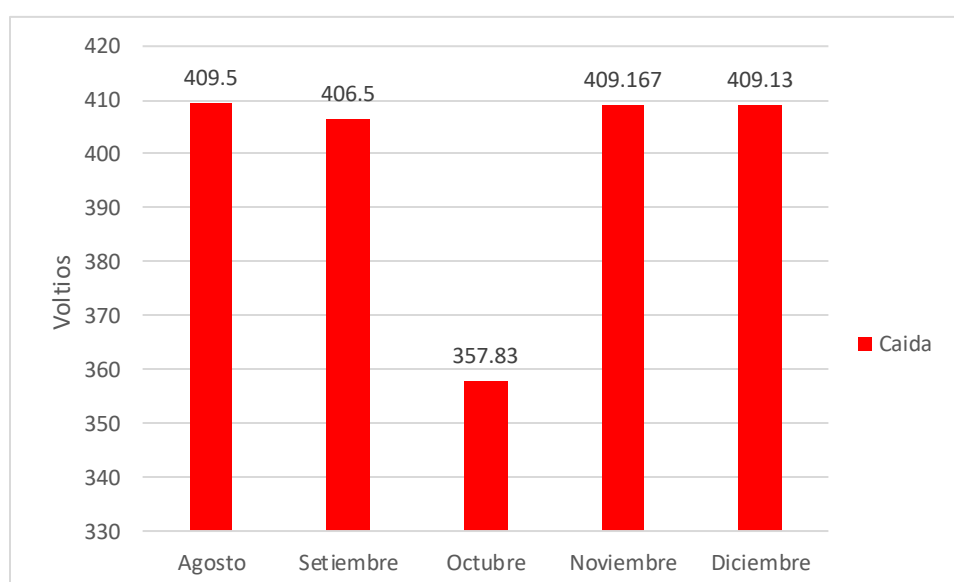


Figura 6. Promedio de caída del voltaje. Adaptada del reporte diario de mantenimiento eléctrico de la Mina Sierra Sumaq Rumi.

En dicha figura se sustenta la necesidad de contar con una nueva subestación de 500 kVA. Podría argumentarse que la consistencia de las 'reposiciones' indica un suministro de energía estable que se repone regularmente; sin embargo, las 'caídas' podrían sugerir que la tensión disponible no es siempre suficiente o estable, lo cual justifica la inversión en infraestructura adicional para asegurar la continuidad y fiabilidad del suministro eléctrico en la Unidad Minera Sierra Sumaq Rumi.

Por otro lado, la uniformidad en las caídas también puede indicar un problema subyacente con la infraestructura actual que requiere atención, mientras que la barra notablemente más baja en un mes específico podría resaltar un incidente o condición particular que necesitaría ser investigado más a fondo. Con estos datos se argumenta que la instalación de una nueva subestación ayudaría a mitigar estos problemas, proporcionando así una base más robusta para las operaciones mineras y reduciendo el riesgo de interrupciones de energía.

2.2. Identificación de oportunidad o necesidad en el área de actividad profesional

La necesidad identificada fue la insuficiente y limitada distribución y capacidad de suministro eléctrico en las zonas de profundización, ocasionadas por el incremento de equipos eléctricos esenciales para el desarrollo de las operaciones mineras; es decir, se superó la capacidad de suministro de energía existente en los circuitos eléctricos, lo cual podría generar interrupciones frecuentes y la disminución en la productividad. Por tanto, surgió la necesidad de realizar la planificación de la instalación de una nueva subestación eléctrica en el nivel +40, con la finalidad de mejorar la provisión de energía para garantizar la continuidad de las actividades, evitando obstáculos y reforzando la confiabilidad en todas las operaciones mineras.

En este punto, es importante señalar que tanto la interrupción como la falta de suministro eléctrico en una mina pueden tener consecuencias graves en términos de seguridad y pérdida de producción. La nueva subestación asegurará la continuidad del suministro eléctrico, reduciendo al mínimo las paralizaciones no planificadas y garantizando que las operaciones se desarrollen sin contratiempos.

En la Figura 7 se expone la problemática central derivada de la insuficiencia en el suministro eléctrico en la Unidad Minera Sierra Sumaq Rumi - Sierra Poli, la cual amenaza la continuidad de las operaciones mineras y la seguridad de los trabajadores. Las principales causas abarcan la ampliación de equipos eléctricos sin una

infraestructura adecuada para su soporte, la superación de las capacidades de suministro debido a un aumento no anticipado en el consumo de energía y las limitaciones en la distribución eléctrica en áreas profundas de la mina. Estos inconvenientes ocasionaban interrupciones frecuentes en el suministro eléctrico, reducción en la productividad y riesgos para la seguridad laboral en el ámbito minero.

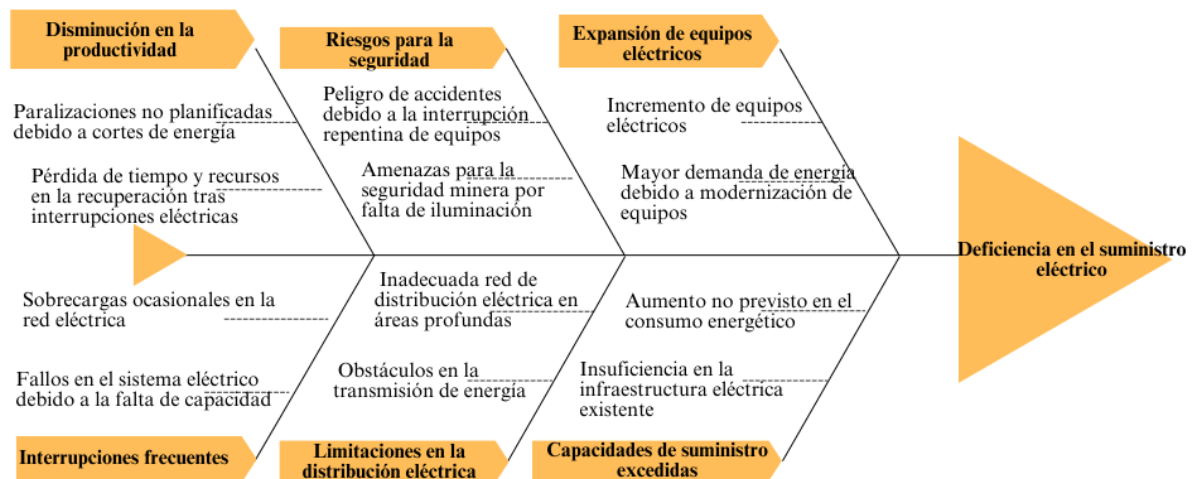


Figura 7. Diagrama de Ishikawa.

De esta forma, se optó como alternativa de solución la implementación de una subestación de 500 kVA (kilovolamperio) en XC-849, CA-555 del NV +40, a fin de asegurar el suministro eléctrico en la Unidad Minera Sumaq Rumi.

2.3. Objetivos de la actividad profesional

2.3.1. Objetivo general

Implementar una subestación de 500 kVA (kilovolamperio) en XC-849, CA-555 del NV +40, para asegurar el suministro eléctrico en la Unidad Minera Sumaq Rumi.

2.3.2. Objetivos específicos

- Reducir la caída de tensión en el sistema eléctrico de la Unidad Minera Sumaq Rumi mediante la implementación de la subestación de 500 kVA en la ubicación XC-849, CA-555 del NV +40.

- Mitigar el recalentamiento de conductores en la transmisión de energía dentro de la Unidad Minera Sumaq Rumi mediante la instalación de la subestación de 500 kVA en la ubicación XC-849, CA-555 del NV +40.
- Determinar el costo de implementación de la subestación de 500 kVA en la ubicación XC-849, CA-555 del NV +40, en la Unidad Minera Sumaq Rumi.

2.4. Justificación de la actividad profesional

La labor de un ingeniero industrial en la unidad minera se justifica en la necesidad de asegurar un mantenimiento eficiente en las actividades realizadas tanto en la planta como en la mina, pues afectan directamente en la seguridad y en la rentabilidad de las operaciones mineras. Además, los profesionales en esta rama identifican deficiencias y plantean medidas correctivas con la finalidad de contribuir con la continuidad y confiabilidad de las operaciones en la organización. Es decir, la instalación de la subestación eléctrica debe cumplir con los estándares de seguridad a fin de reducir el riesgo de incidentes relacionados con la electricidad y garantizar un ambiente de trabajo más seguro para los empleados. Por ello, es importante que el profesional tome en cuenta las regulaciones y los estándares estrictos en materia de seguridad para evitar sanciones.

Asimismo, un adecuado mantenimiento de la energía eléctrica permite minimizar las pérdidas en el largo plazo en términos de consumo energético y costos operativos. De esta manera, se contribuye con el crecimiento y desarrollo de la empresa. Por tanto, el ingeniero industrial aporta con la continuidad, eficiencia y seguridad de las operaciones mineras, y desempeña un papel crucial en la planificación, diseño y ejecución de proyectos, garantizando que se cumplan los objetivos y estándares requeridos para el éxito sostenible de la empresa minera.

2.5. Resultados esperados

2.5.1. Resultados esperado general

Como resultado de este estudio, se espera describir la implementación de la subestación de 500 kVA en la ubicación XC-849, CA-555 del NV +40, para asegurar el suministro eléctrico en la Unidad Minera Sumaq Rumi. Además, se identificarán los cambios en la infraestructura eléctrica de la mina después de la instalación de la

subestación, proporcionando una visión integral de cómo esta mejora ha impactado en la estabilidad del suministro eléctrico en la mina.

2.5.2. Resultados esperados específicos

- Como resultado de la implementación de la subestación de 500 kVA en la ubicación XC-849, CA-555 del NV +40, se reducirá la caída de tensión en el sistema eléctrico de la Unidad Minera Sumaq Rumi. Para evaluar esta mejora, se realizarán mediciones antes y después de la instalación a fin de determinar la eficacia de la solución. Además, se espera registrar cualquier mejora en la estabilidad del sistema eléctrico y reducir las interrupciones en la operación minera.
- Como consecuencia de la instalación de la subestación de 500 kVA en la ubicación XC-849, CA-555 del NV +40, se anticipa la solución del problema de recalentamiento de conductores en la transmisión de energía dentro de la Unidad Minera Sumaq Rumi. Se espera registrar una reducción en la temperatura de los conductores después de la implementación de la subestación, confirmando así la eliminación del problema y su impacto favorable en la eficiencia del sistema eléctrico.
- Se evaluarán tres propuestas provenientes de diferentes empresas, con el objetivo de seleccionar la opción que brinde los mayores beneficios y genere ahorros para la unidad minera. Se llevará a cabo un análisis detallado de cada propuesta, considerando aspectos como el costo total de implementación, la calidad de los materiales y servicios ofrecidos, y la experiencia de la empresa, así como cualquier otro factor relevante para garantizar la eficiencia y efectividad del proyecto.

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

3.1. Bases teóricas de las metodologías o actividades realizadas

3.1.1 Planificación de proyectos eléctricos

A. Definición

Los proyectos representan operaciones de alta complejidad que requieren la combinación de recursos humanos y materiales en una estructura temporal con el fin de lograr objetivos específicos. Se trata de una tarea singular y no repetitiva, caracterizada por su nivel de complejidad y la utilización de recursos diversos y cambiantes. Un proyecto posee un ciclo de vida que abarca diversas etapas y produce resultados intermedios. Es un proceso irreversible, dinámico y en constante evolución, lo que implica la presencia de riesgos e incertidumbres que disminuyen a medida que avanza en su ejecución (3).

Un proyecto está basado en la planificación y ejecución de un esfuerzo limitado en el tiempo, destinado a concebir y concretar un producto, servicio o resultado novedoso, dentro de un marco predefinido de recursos y plazos. La temporalidad inherente a los proyectos se traduce en un punto de inicio y un punto de culminación claramente establecidos. Es importante resaltar las siguientes características esenciales de los proyectos (4):

- Finalidad.
- Único. Genera un producto, servicio o resultado único y singular, el mismo que puede manifestarse en formas tangibles o intangibles.
- Temporalidad. Tiene una duración en el tiempo, aunque el producto o servicio que se origina suele perdurar más allá de la finalización del proyecto.
- Progresivo. Avanza de manera gradual y secuencial, con etapas definidas que permiten el control y seguimiento adecuados del progreso.

Es importante la planificación integral de las acciones, lo cual permite una mejor coordinación de todas las partes involucradas y una utilización más eficiente de los recursos disponibles, optimizando los beneficios derivados de las distintas acciones emprendidas. El proyecto se conforma de actividades estrechamente definidas y está

planificado para una duración finita, con una meta específica que alcanzar. Generalmente se divide en varias tareas (3).

La planificación implica pasos que permiten determinar los límites y la amplitud de un proyecto, así como establecer la dirección y la estrategia a seguir. Sin embargo, a medida que avanza el proyecto puede modificarse lo planeado al inicio (5).

También, se establecen los principios que guiarán su desarrollo, la secuencia de tareas necesarias para su ejecución y la asignación de recursos temporales y numéricos requeridos. La planificación de un proyecto debe ser meticulosa para asegurar que, al entregar el producto final al cliente, este pueda expresar plena satisfacción por el éxito alcanzado en la ejecución del proyecto (4).

En el caso de la empresa Sierra Sun Group S.A.C., se debía establecer la ubicación precisa dentro del sistema eléctrico en la que se detecta la demanda de una nueva subestación. Esto se logró a través de una serie de estudios exhaustivos y análisis del mercado eléctrico, con el objetivo de proyectar el futuro crecimiento del consumo eléctrico y las necesidades específicas de una zona determinada. Para proyectar el impacto de la nueva subestación, se realizaron varios estudios del sistema eléctrico, que incluyeron el análisis de flujos de carga, la evaluación de la corriente en caso de corto circuito, la consideración de requisitos de estabilidad, la identificación de las necesidades de compensación del sistema, entre otros. En el proceso de planificación, se desarrolló un plan detallado considerando aspectos como el alcance de las instalaciones (características generales de la subestación), la fecha requerida para su puesta en funcionamiento y una estimación de los costos asociados al proyecto (6).

B. Importancia

La planificación de un proyecto es importante pues facilita a la organización la consecución de sus objetivos. Asimismo, ofrece la capacidad de una respuesta ágil frente a las demandas cambiantes y permite adaptarse y gestionar de manera efectiva los cambios. Por tanto (4, 3):

- Eficiencia. Define las responsabilidades funcionales en el contexto de la misión de la empresa, asegurando una comprensión clara de las responsabilidades entre todos los miembros de la organización. Además, identifica oportunidades de mejora en los procesos, lo que conduce a ahorros en tiempo y costos.

- Coordinación de recursos internos y externos. Evita la falta de aprovechamiento de sinergias entre proveedores que interactúan con diversas áreas de la empresa.
- Aprendizaje continuo. Facilita la creación de un conocimiento práctico en la empresa, el cual puede aplicarse en la planificación y ejecución de proyectos futuros.
- Optimización del rendimiento del equipo. Maximiza la colaboración efectiva entre los miembros del equipo, lo que permite aprovechar las sinergias y capacidades individuales.
- Identificación temprana de riesgos y problemas para ser abordados de manera inmediata. Facilita la implementación de acciones correctivas oportunas.
- Información centralizada y eficaz. Permite reducir la necesidad de que todos los miembros del equipo generen informes constantemente al centralizar la información en el área de control de proyectos.
- Estandarización. Promueve la regulación de prácticas en diversos sectores e industrias, lo que facilita la movilidad y flexibilidad de los gerentes de proyecto en diferentes contextos.
- Calidad. Garantiza la entrega de resultados que cumplen con los requisitos y son adecuados para su uso, lo que contribuye a la satisfacción del cliente.

C. Inversión

Consiste en el financiamiento de recursos que abarca la edificación de las redes de transmisión, la subestación y el centro de supervisión (4, 7).

- Inversión fija. Se refiere a los elementos de infraestructura física que un proyecto necesita para su financiamiento, por ejemplo, edificios, equipos, terrenos, maquinaria y vehículos. Estos recursos también pueden considerarse como el capital del proyecto.
- Inversión diferida. Son realizados previamente y se amortizan gradualmente durante el período de funcionamiento del proyecto. Entre estas inversiones se incluyen los costos relacionados con la realización de estudios de

prefactibilidad o factibilidad, los gastos asociados a la creación y preparación del proyecto, los costos de ponerlo en marcha, los imprevistos que puedan surgir y los intereses correspondientes al período antes de que el proyecto entre en operación. Estos gastos se consideran como inversiones a largo plazo que se recuperan a lo largo del tiempo cuando el proyecto esté en funcionamiento.

- **Capital de trabajo.** Es la cantidad de dinero que una empresa necesita para cubrir sus necesidades financieras a corto plazo. Incluye los fondos necesarios para administrar la cartera de cuentas por cobrar, adquirir materia prima, mantener productos en proceso y almacenar productos terminados. En esencia, el capital de trabajo es el efectivo disponible para financiar las operaciones diarias de una empresa y garantizar su funcionamiento sin problemas.

D. Costos

Méndez (4) señaló que el tamaño del proyecto, el proceso de producción que se lleva a cabo y la ubicación geográfica influyen en el costo de las obras físicas. Por tal razón, se requiere una descripción concisa de las obras, organizada de manera funcional, que incluya detalles importantes de cada una y un análisis correspondiente de su costo. Además, se debe considerar el valor de las obras, teniendo en cuenta la complejidad de su ejecución, así como aspectos como la depreciación y el período de vida útil de estas obras.

Por tanto, los costos de operación y mantenimiento se refieren a los gastos que realiza la organización en las redes de transmisión, las instalaciones, el pago de personal, la seguridad y otros (7):

- **Costos de operación**

Se realizan sobre la infraestructura, instalaciones, equipos, vehículos, material técnico y fungible (4).

- **Costos de mantenimiento**

Incluye el mantenimiento de infraestructura, instalaciones y equipos (4).

E. Cronograma

Consiste en realizar la descripción detallada de las acciones a realizar y el período de tiempo necesario para llevar a cabo un proyecto de manera eficiente. Es esencial estructurar las tareas en intervalos de tiempo estimados para tener una comprensión precisa de la duración de cada actividad. En su representación, comúnmente se recurre a gráficos de barras y puntos de referencia, lo que facilita una visualización más clara y precisa de la duración de cada tarea. Es importante recordar que el cronograma es una estimación y las fechas para cada actividad deben ser determinadas en colaboración con el equipo del proyecto y con el respaldo de todos los involucrados en su ejecución (4).

Además, es conveniente establecer de manera clara y precisa la asignación de responsabilidades y elaborar un plan de seguimiento detallado. Estos elementos deben ser compartidos y aprobados por todas las partes involucradas en el proyecto, lo que fomenta la colaboración y la comprensión mutua. El proceso de desarrollo del cronograma implica que el gerente del proyecto tenga la habilidad de desglosar cada actividad que se llevará a cabo, identificar los recursos necesarios y evaluar la disponibilidad de los mismos (4).

3.1.2. Indicadores de evaluación

Desempeñan un papel fundamental en la medición del éxito de un proyecto y deben ser establecidos durante su fase de diseño. Su concreción y capacidad de medición son esenciales para su utilidad. Para lograr este propósito, deben cumplir con ciertos requisitos: primero, los indicadores deben ser independientes, lo que significa que cada objetivo específico debe tener su propio indicador. Además, deben ser verificables, lo que permite comprobar empíricamente los cambios que ocurren con el proyecto. La validez es otro requisito crucial, ya que los indicadores deben medir lo que se pretende medir y reflejar los efectos del proyecto en su conjunto. Además, deben ser accesibles, lo que implica que la información necesaria para los indicadores debe ser fácilmente obtenible, preferiblemente a través del sistema de seguimiento normal del proyecto (3).

Los indicadores pueden clasificarse en cuatro categorías, según el ámbito de actuación del proyecto (3):

- **Técnicos:** evalúan la adecuación de los recursos utilizados con relación a los objetivos y la naturaleza de la acción.
- **Económicos:** se centran en los costos y la rentabilidad del proyecto.

- Organización: se refiere al sistema de gestión, plan de actuación y colaboraciones complementarias.
- Impacto social: evalúa el cumplimiento de los objetivos del proyecto, la aceptación por parte de los beneficiarios y la integración en el contexto en el que se desarrolla.

3.1.3. Ejecución de proyectos eléctricos

La ejecución se da luego de haberse identificado y planificado el proyecto, así como reunido los recursos humanos, materiales y financieros necesarios. Es decir, se materializa lo planeado, se pone en práctica el proyecto y se observa si la programación se ajusta a las necesidades y recursos reales. Durante esta etapa, se busca llevar a cabo las actividades de acuerdo con lo programado, manteniendo una estrecha atención a cómo responde la realidad y cómo interactúan los diversos factores involucrados en la acción (3).

Pasar de la planificación a la ejecución de un proyecto genera numerosos aspectos a considerar, dado que implica la convergencia de factores que anteriormente estaban dispersos y difícilmente integrados. Una característica particular es la fragmentación y aislamiento de factores, lo que dificulta su unión, organización y multiplicación. En este contexto, la dirección y gestión efectiva del proyecto adquieren una relevancia fundamental, ya que mantienen la cohesión durante la ejecución. La eficacia de la gestión se mide por el cumplimiento de las directrices y la aplicación de las órdenes. Si los instrumentos y mecanismos establecidos funcionan adecuadamente, el factor humano también operará con mayor eficacia (3).

Durante la ejecución del proyecto es posible que surjan cambios, siendo necesario realizar ajustes o modificaciones para adaptarse a las nuevas circunstancias. Por esta razón, debe establecerse un mecanismo de medición y evaluación interna continua que evalúe el funcionamiento global del proyecto y de cada una de sus áreas integradas. Esta autoevaluación debe ser realizada por aquellos con un interés primordial en garantizar la eficacia y el uso eficiente de los recursos del proyecto, es decir, los propios beneficiarios y partes involucradas (3).

3.1.4. Subestación eléctrica en mina

A. Definición

Es como un sistema integrado de dispositivos, equipos y circuitos destinados a modificar los atributos fundamentales de la energía eléctrica, como son la tensión y la corriente, facilitando su suministro tanto al sistema en general como a las líneas de transmisión que forman parte de la infraestructura eléctrica existente (6).

Una subestación representa la manifestación física de un punto de conexión dentro de un sistema eléctrico de alta potencia. En este punto, la energía se ajusta a niveles específicos de voltaje, adecuados para su posterior transporte, distribución o consumo, cumpliendo con requisitos particulares de calidad. Está compuesta por un conjunto de dispositivos destinados a supervisar y regular el flujo de energía, al tiempo que asegura la integridad del sistema mediante la utilización de mecanismos automáticos de protección (5).

Además, se vincula con una central generadora, regulando directamente el flujo de potencia hacia el sistema, empleando transformadores de potencia para ajustar los niveles de tensión, según sea necesario. También puede servir para conectar diversas vías de flujo eléctrico que operan a niveles de tensión similares. En ocasiones, una sola subestación asume más de una de estas funciones de forma simultánea (6).

Asimismo, se compone de múltiples circuitos de entrada y salida, todos convergiendo en un punto central conocido como barraje de la subestación. El elemento primordial en cada circuito es el interruptor, complementado por dispositivos como transformadores de instrumentación, seccionadores y pararrayos en la sección de alta tensión. También se integran sistemas secundarios que abarcan el control, protección, comunicaciones y servicios auxiliares (6, 8).

B. Clasificación

De acuerdo con las funciones que realizan dentro de la empresa, existen:

- Las subestaciones radiales, que operan con una única fuente de suministro y no presentan interconexiones múltiples (7).
- La subestación reductora, la cual cumple la función de recibir la tensión eléctrica proveniente de la etapa de transmisión, donde previamente ha sido elevada, para luego reducirla a niveles adecuados que permiten su distribución y suministro a los sistemas industriales, de distribución o

residenciales, según sea necesario. En este proceso se gestionan varios niveles de tensión (7).

- La subestación elevadora, que, por lo general, se encuentra ubicada junto a las centrales generadoras. Tiene la capacidad de ajustar los parámetros de la potencia producida por los generadores, facilitando la transmisión de energía eléctrica y posibilitando el aumento de la tensión suministrada por las fuentes generadoras. Esto se realiza con el propósito de simplificar la transmisión y las conexiones intersectoriales con la red eléctrica nacional (7, 8).
- La subestación en anillo, que consiste en establecer conexiones entre subestaciones adicionales, típicamente en los sistemas de distribución eléctrica (7, 8).
- La subestación de maniobra, la cual permite la interconexión y garantiza la flexibilidad y la fiabilidad del servicio eléctrico. Esto posibilita la realización de maniobras de conexión y desconexión de circuitos, de acuerdo con las demandas específicas del servicio en un momento dado (8).
- La subestación de intemperie, que funciona al aire libre y necesita equipos y dispositivos especialmente adaptados para operar en condiciones atmosféricas desafiantes, como lluvia, nieve, viento y niveles significativos de contaminación ambiental. Principalmente, se emplea en sistemas de alta tensión y, en menor medida, en aplicaciones básicas de redes de distribución aérea (6).
- La subestación receptora, la cual se presenta de dos tipos: la primaria, que captura la energía que fluye desde las líneas de transmisión para luego reducir la tensión eléctrica a niveles más bajos, de acuerdo con el nivel de transmisión correspondiente. Para fines de distribución o como parte integral de una subestación principal, suele generar niveles de tensión de 115 kV, 34,5 kV, 85 kV y 89 kV con regularidad. Y la secundaria, la cual opera a niveles de tensión intermedios, que oscilan típicamente entre los 60 kV y los 220 kV, con la posibilidad ocasional de 138 kV. Estas subestaciones desempeñan un papel esencial al suministrar energía a las redes de distribución de 10 kV, 13,2 kV, 22,9 kV y 33 kV (6).

C. Elementos

Las subestaciones tienen los siguientes elementos:

- Interruptor de potencia: es un dispositivo de corte con una elevada capacidad para interrumpir circuitos eléctricos. Puede permanecer conectado en diversas situaciones, incluso durante largos períodos que pueden abarcar semanas o incluso meses, especialmente cuando se realizan maniobras frecuentes (6).
- Interruptor de transferencia: efectúa el cambio entre la principal línea de suministro de energía eléctrica y la de respaldo que abastece la carga, y viceversa. Es esencial que este proceso de transferencia se ejecute sin causar interrupciones en el suministro eléctrico. Este mecanismo garantiza la continuidad y estabilidad del suministro de energía en la subestación eléctrica (9).
- Transformador de potencia: permite ajustar a la baja o al alza el nivel de tensión presente en un circuito de corriente alterna, sin que se altere la potencia total. En el caso de un transformador ideal, la potencia que recibe en la entrada es equivalente a la potencia obtenida en la salida. Además, permite reducir el voltaje y medir el suministro o el intercambio de energía (6, 7).
- Transformador de tensión: reduce la tensión de un sistema eléctrico de alta tensión a un nivel más bajo y manejable. Se utiliza principalmente para medir con precisión la tensión eléctrica en sistemas de alta tensión, así como para proporcionar señales de control a equipos de protección y medición (9).
- Transformador de corriente: se utiliza de manera habitual a fin de reducir las propiedades de corriente eléctrica en un sistema hasta niveles que resulten seguros. Su propósito principal radica en hacer posible la utilización segura de dispositivos de medición estándar (6).
- Tuberías galvanizadas: son barras metálicas fabricadas de cobre o aluminio, generalmente. Se utilizan como medio conductor para transportar la tensión eléctrica, ya sea en un panel de distribución o en una subestación eléctrica. Estas barras son comúnmente sujetadas mediante aisladores (9).
- Tablero de control y medición: tiene una estructura compuesta por una lámina de 3 milímetros de espesor, la cual, con frecuencia, se presenta en

color naranja. Además, incorpora sistemas informáticos y los equipos de medición (9).

- Cuchillas: son dispositivos similares a los interruptores utilizados en sistemas eléctricos, tanto de baja como de alta tensión. Es importante resaltar que su función principal es salvaguardar el transformador, ya que pueden ser desconectadas en situaciones de emergencia (6).
- Cometida: conecta la infraestructura de distribución interna de una organización con la caja principal de protección eléctrica. Por lo general, la propiedad de esta conexión corresponde a la empresa eléctrica y suele haber una por edificio. Es importante señalar que esta conexión puede ser subterránea o aérea (7).
- Fosas o manjoles: estos compartimentos subterráneos sirven como puntos de acceso para los cables provenientes de la empresa de suministro eléctrico. Es necesario resaltar que se debe contar con sistemas de drenaje dentro de estos compartimentos para prevenir problemas de inundación. Su propósito principal es agilizar la gestión de los cables de alimentación eléctrica (7).
- Puesta a tierra: consiste en el conjunto de electrodos de cobre que configuran un enrejado alrededor de la subestación eléctrica, estos sistemas sirven de protección para el personal y para los equipos eléctricos (9).
- Apartarrayos: se utilizan con regularidad en salvaguarda de subestaciones y otras infraestructuras eléctricas. Su tarea fundamental consiste en controlar y restringir las sobretensiones, especialmente aquellas generadas por factores atmosféricos, reduciéndolas a niveles de tensión residuales que no representan riesgos para la operación segura de los sistemas eléctricos (6).
- Pararrayos: son componentes destinados a resguardar la subestación y toda la instalación eléctrica de las descargas atmosféricas. Las descargas atmosféricas son canalizadas de manera segura hacia el suelo (7).
- Hilo de guarda: se localiza en la parte superior de las torres de la subestación y su función principal es resguardar las líneas eléctricas de las descargas atmosféricas. Este mecanismo implica la captación y desviación

de las descargas atmosféricas hacia la tierra mediante un conductor que se conecta al suelo (7).

D. Mantenimiento de la subestación

El mantenimiento de los diversos componentes y sistemas de la subestación permite identificar de manera temprana posibles fallas, así como el estado operativo de los equipos y de las actividades, con la finalidad de minimizar las pérdidas energéticas en los sistemas eléctricos, prolongar la vida útil de los equipos y componentes y que los niveles de producción en términos de calidad y cantidad sean adecuados y eficientes (10).

Sin embargo, se debe tener en cuenta que la duración de los programas de mantenimiento no debe exceder los doce meses; además, para las pruebas de análisis de tendencias, se recomienda intervalos mucho más cortos (10).

Existen tres tipos de mantenimiento (9):

- Correctivo, el cual consiste en realizar correcciones de los defectos que se presentan en los equipos. Deben ser avisados al departamento de mantenimiento por los mismos usuarios (9).
- Preventivo, que se realiza con la finalidad de mantener el nivel en el que se encuentra los servicios de los equipos; además, implica que se desarrollen de manera programada las correcciones de los puntos débiles identificados (9, 11).
- Predictivo, se refiere a que se conozca y se avise de manera continua el estado y funcionamiento de las instalaciones, equipos y otros (9, 12).

3.1.5. Suministro eléctrico

Es el proceso de entrega de electricidad desde su punto de generación hasta los lugares donde se utiliza, es decir, el flujo de energía eléctrica que se proporciona desde una fuente de generación hacia los consumidores finales a través de una red eléctrica. Puede ser proporcionado por compañías eléctricas o proveedores de servicios públicos, que se encargan de la generación, transmisión y distribución de la electricidad a través de una red de cables y subestaciones. Es esencial para desarrollar distintas actividades cotidianas y en otros sectores (13).

Por ejemplo, en distintos sectores industriales, incluyendo la minería, la disponibilidad constante y estable de energía eléctrica se convierte en un requisito fundamental para asegurar la ininterrumpida operación de las actividades y procesos. Para lograr esta vital continuidad, estas industrias hacen uso de una variedad de dispositivos especializados que les permiten asegurar tanto el suministro como el almacenamiento de la electricidad necesaria (13).

Algunos elementos esenciales para el funcionamiento eficiente de la infraestructura eléctrica son:

- Líneas de transmisión, que constituyen estructuras fundamentales encargadas de efectuar la transmisión y distribución de la energía eléctrica. Estas líneas incluyen diversos componentes como conductores, estructuras de soporte, aisladores y accesorios de ajuste, entre otros elementos clave (13).
- Las subestaciones, que son instalaciones cruciales dentro de un sistema eléctrico de potencia. Su principal objetivo radica en la modificación y regulación de los niveles de tensión en la infraestructura eléctrica, facilitando así la transmisión, distribución y consumo final de la energía eléctrica (6).
- Los transformadores, los cuales son dispositivos estáticos de corriente alterna que desempeñan un papel crucial al permitir la variación de funciones como el voltaje o la intensidad mediante la generación de un campo magnético, manteniendo constante la potencia eléctrica (13).

Además de estos componentes, es fundamental resaltar la importancia de los estabilizadores o reguladores, dispositivos electrónicos diseñados específicamente para corregir y mantener el voltaje existente en la línea de energía eléctrica que abastece proyectos mineros y otras instalaciones. Por último, los UPS (Sistemas de Alimentación Ininterrumpida) representan una fuente de suministro eléctrico que integra baterías para proporcionar energía eléctrica de respaldo durante cortes eléctricos, garantizando así la continuidad de dispositivos electrónicos en situaciones de emergencia (13).

Dada la crítica relevancia de cada uno de estos elementos para el funcionamiento y la productividad de una mina, es esencial someterlos a rigurosos programas de mantenimiento, siguiendo las directrices establecidas por el fabricante de cada equipo. Esta precaución se toma para garantizar su correcto funcionamiento y mantener la operatividad ininterrumpida de la infraestructura eléctrica, asegurando la

continuidad de sus procesos de producción (9). Las minas y canteras dependen intrínsecamente de un suministro eléctrico confiable que les permita mantener un funcionamiento óptimo, evitando así tanto los costosos como peligrosos cortes eléctricos inesperados. En este sentido, es fundamental la seguridad como principal prioridad en cualquier empresa minera, por lo que las actividades deben realizarse con altos estándares de calidad.

De igual forma, un eficiente suministro eléctrico permite asegurar la eficiencia, efectividad y rentabilidad de las operaciones mineras, por lo que, teniendo en cuenta las crecientes demandas del sector, es necesario contar no solo con una fuente eléctrica constante, sino también con sistemas de comunicación y monitoreo avanzados. Asimismo, la incorporación de soluciones de redes de fibra óptica se vuelve esencial para potenciar la productividad, mejorar la seguridad operacional y reducir costos.

CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

4.1. Descripción de actividades profesionales

4.1.1. Enfoque de las actividades profesionales

La actividad profesional desarrollada se basó en la planificación del proyecto de instalación de la subestación en la mina, cumpliendo con los estándares nacionales establecidos y teniendo en cuenta el mantenimiento mecánico y eléctrico de las operaciones mineras, con la finalidad de optimizar y garantizar la distribución del sistema eléctrico en condiciones adecuadas y evitar interrupciones no planificadas, las cuales ocasionan pérdidas significativas en términos económicos y de producción. De esta manera, se buscó mantener una operación eficiente y segura en la zona de profundización de la mina y en los futuros proyectos mineros.

4.1.2. Alcance de las actividades profesionales

Consistió en la identificación de una oportunidad de mejora durante el desarrollo de las actividades de mantenimiento a fin de presentar un proyecto a la gerencia encargada para, después de su revisión y aprobación, ejecutarlo de acuerdo con los estándares establecidos.

4.1.3. Entregables de las actividades profesionales

Los entregables fueron:

- **Presupuesto (Anexo 1)**

Este entregable proporcionó el presupuesto detallado para la implementación de la subestación, incluyendo propuestas económicas de tres empresas: Min. Hersa S.R.L., Corporación Anback S.R.L. y Alyabe S.R.L. En este documento se evaluaron los costos asociados con el proyecto para facilitar la selección de la empresa contratista.

- **Mapa de unidad minera y sus componentes principales (Anexo 3)**

Este mapa proporcionó una representación visual de la unidad minera y sus componentes principales, incluyendo elementos como bocaminas, chimeneas, canteras, desmante, relave e instalaciones. Este entregable fue fundamental para comprender la distribución geográfica de la unidad minera y la ubicación de sus elementos clave.

- **Geología local (Anexo 4)**

En ese documento se describió la geología local de la zona donde se implementó la subestación. Proporcionó información detallada sobre las características geológicas

del área, lo cual fue crucial para comprender el entorno en el que se llevaron a cabo el proyecto.

- **Plano topográfico de la unidad minera (Anexo 5)**

En este plano se hizo una representación de la topografía de la unidad minera, incluyendo tanto las labores ejecutadas como las labores proyectadas, lo que permitió visualizar la configuración del terreno y las posibles modificaciones que se iban a realizar con la implementación de la subestación.

4.2. Aspectos técnicos de la actividad profesional

4.2.1. Metodologías

El presente trabajo se realizó bajo una metodología descriptiva. Al respecto, Hernández y Mendoza (14) mencionaron que estos estudios pretenden especificar singularidades y particularidades de procesos, de grupos o comunidades en un determinado tiempo y lugar; es por ello que se partió de la observación de la realidad para luego describir las limitaciones, deficiencias y los errores encontrados durante el desarrollo de las actividades, lo cual permitió proponer mejoras para contribuir con el desarrollo adecuado de las operaciones mineras en la zona de profundización, reducir riesgos y accidentes, y mejorar la productividad. De esta forma, en el presente trabajo de suficiencia profesional se describieron y analizaron los principales resultados alcanzados después de desarrollar las actividades en el área de mantenimiento general.

4.2.2. Técnicas

Se empleó la técnica de observación, la cual, según Espinoza (16), se utiliza para recolectar datos sobre el objeto de investigación con el fin de comprender su funcionamiento. Este enfoque se basó en la observación directa, lo que permitió identificar áreas de mejora y necesidades dentro de la unidad minera, con el propósito de proponer estrategias eficientes que gestionen adecuadamente los recursos y contribuyan tanto a la sostenibilidad económica como a las operaciones diarias de la mina.

4.2.3. Instrumentos

El instrumento utilizado fue la guía de observación. Según Ñaupas et al. (15), los investigadores emplean herramientas específicas para explorar los fenómenos objeto de estudio y recopilar datos relevantes, denominados instrumentos de investigación. En este caso, la guía de observación se diseñó con criterios pertinentes

para lograr los objetivos planteados en este estudio profesional, que fue registrar la información recogida con el fin de proponer mejoras y extraer conclusiones que contribuyan al desarrollo de este informe.

4.2.4. Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades

Durante el desarrollo de las actividades se emplearon los equipos y materiales detallados en la Tabla 1, donde cada artículo está acompañado por la cantidad aproximada necesaria, la unidad de medida, el precio unitario y el subtotal correspondiente. Los elementos necesarios para la instalación y funcionamiento de la subestación incluyeron interruptores, transformadores, seccionadores, descargadores de sobretensión, entre otros. Además, se proporcionaron detalles sobre el costo de cada artículo y su contribución al costo total del proyecto, que ascendió a 2855 soles.

Tabla 1. *Equipos y materiales usados en las actividades*

Equipo/Materiales	Cantidad aproximada	Unidad	Precio S/	Subtotal S/
Interruptores	4	uds.	15	60
Transformador de potencia, corriente y tensión	1	ud.	255,5	255,5
Seccionador	2	uds.	16,5	33
Descargadores de sobretensión	6	uds.	155	930
Puesta a tierra	1	ud.	245	245
Cuchillas	3	uds.	24,5	73,5
Pararrayos	4	uds.	35	140
Barras	10	uds.	4,6	46
Tablero de control y medición	1	ud.	154	154
Thorgel	5	kg	12,5	62,5
Cemento conductor	10	kg	34	340
Sal industrial	2	sacos	24	48
Barra de cobre 5/8"	20	m	7,5	150
Alambre de cobre desnudo de 1/2"	50	m	5,6	280
Caja de registro	3	uds.	12,5	37,5
Total				2855

4.3. Ejecución de las actividades profesionales

4.3.1. Cronograma de actividades realizadas

En la Tabla 2 se presenta el cronograma de las actividades profesionales realizadas durante la implementación de la subestación en la Unidad Minera Sierra Sumaq Rumi - Sierra Poli, en 2022 y 2023. Se enumeran las tareas específicas efectuadas que van desde la elaboración y presentación del proyecto hasta la verificación de la puesta en operación de la subestación. Cada actividad está programada en función de los meses correspondientes, lo que permitió una planificación efectiva y un seguimiento detallado del progreso del proyecto.

Tabla 2. *Cronograma de actividades*

Cronograma de actividades profesionales						
Actividades	2022			2023		
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1. Elaboración del proyecto.	■					
2. Presentación del proyecto a la gerencia de operaciones.	■					
3. Revisión y aprobación del proyecto.	■					
4. Verificación de la recuperación y traslado de postes de concreto.		■				
5. Supervisión de la excavación de 3 pozas.		■				
6. Supervisión del traslado e instalación de conductor eléctrico.		■				
7. Verificación de la preparación de terminaciones de media tensión.		■				

8. Verificación de la conexión de tres fases al seccionador <i>cut-out</i> .			
9. Verificación el área de mina respecto al taladro de 25 m.			
10. Verificación del encofrado.			
11. Supervisión de la excavación e instalación de poza a tierra.			
12. Supervisión del mantenimiento del transformador de 500 kVA.			
13. Verificación del traslado del transformador 500 kVA.			
14. Supervisión del traslado de cable eléctrico hacia la subestación.			
15. Verificación del montaje de techado del transformador de 500 kVA.			
16. Verificación del montaje de dos puertas en la subestación CA-555.			
17. Verificación de la desconexión y traslado del tablero de distribución y control del nivel 115.			
18. Verificación de la preparación de terminaciones de media tensión autocontraíble en la subestación de CA-555.			
19. Verificación de la instalación de fusibles de 100 amperios en celda de media tensión en la subestación CA-555.			
20. Verificación de la instalación de conductor a la celda de media tensión y de la celda hacia el transformador de 500 kVA.			

21. Verificación de la instalación de luminaria en la subestación CA-555 del nivel +40.

22. Supervisión de la conexión y alimentación del cut-out en la subestación de la CA-555.

23. Verificación de la puesta en operación de la subestación.

4.3.2. Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales

Durante el proyecto de implementación de la subestación de 500 kVA en la Unidad Minera Sierra Sumaq Rumi - Sierra Poli, se efectuaron las siguientes actividades:

- 1) Recuperación de tres postes de concreto de 10 metros junto a la laguna Azulcocha con apoyo de excavadora (Figura 8).

Se realizó la recuperación de tres postes de concreto de 10 metros, con el apoyo de la excavadora, al costado de la laguna Azulcocha. Los postes fueron trasladados hacia la altura del NV +40, donde se excavaron tres agujeros para plantarlos con apoyo de la excavadora Doosan.



Figura 8. Recuperación de postes de concreto.

- 2) Bloqueo del sistema eléctrico y recuperación del cable de aluminio de 120 mm hacia el NV +40.

En la Figura 9 se observa el proceso de recuperación del cable de aluminio de 120 mm y su posterior traslado hacia la superficie del NV +40. Este proceso se realizó después del bloqueo del sistema eléctrico, asegurando así un entorno seguro para la manipulación y movimiento del cable.



Figura 9. Recuperación del cable de aluminio de 120 mm.

3) Verificación del flechado de los postes de concreto.

En la Figura 10 se muestra la verificación del flechado de los postes de concreto. Este proceso implica la inspección visual de los postes para asegurarse de que estén rectos y alineados correctamente.



Figura 10. Flechado de los postes de concreto.

4) Preparación de soportes e instalación de *bushings* en los postes.

En la Figura 11 se muestra el proceso de preparación de soportes e instalación de los *bushings* en los postes de 10 metros. Este paso implicó la preparación

de los soportes necesarios para fijar los *bushings*, que son dispositivos aislantes utilizados para conectar conductores eléctricos a equipos o estructuras. Se observa a los trabajadores colocando los soportes en los postes y asegurándose de que estén firmemente sujetos antes de instalar los *bushings*.



Figura 11. Instalación de *bushings*.

5) Izaje y tendido del conductor eléctrico de aluminio de 120 mm en los postes.

En la Figura 12 se muestra el izaje y tendido del conductor eléctrico de aluminio de 120 mm en los tres postes. Este proceso consistió en elevar el conductor eléctrico y colocarlo a lo largo de los postes, asegurándolo con terminales y abrazaderas para garantizar una conexión segura y estable.



Figura 12. Izaje y tendido del conductor eléctrico.

- 6) Instalación de *cut-out* en el tercer poste y preparación para el conductor de media tensión tetrapolar $3 \times 95 \text{ mm}^2 + 2 \times 50 \text{ mm}^2$.

En la Figura 13 se observa el proceso de instalación del *cut-out* en el tercer poste, situado a la altura del Xc-849. En este proceso, los trabajadores prepararon las terminales necesarias para la instalación del conductor de media tensión tetrapolar, que constó de tres conductores de 95 mm^2 y dos conductores de 50 mm^2 .



Figura 13. Instalación de *cut-out*.

- 7) Traslado logístico del conductor de media tensión tetrapolar hacia la parte superior curva del NV +40.

En la Figura 14 se observa el traslado logístico del conductor de media tensión tetrapolar de $3 \times 95 \text{ mm}^2$ hacia la parte superior curva del NV +40, con el apoyo de un cargador frontal. Se observa al cargador frontal trasladando el rollo o carrete del conductor y transportándolo hacia la ubicación deseada en la subestación.



*Figura 14.*Traslado del conductor de media tensión tetrapolar.

- 8) Construcción de la CA-555: perforación, disparos y limpieza con equipos adecuados.

En la Figura 15 se presenta el proceso de construcción de la CA-555. Este proceso comenzó con la perforación del terreno, utilizando el apoyo del jumbo axera, una máquina especializada en este tipo de tareas. Posteriormente, se ejecutaron disparos controlados para fragmentar el terreno de manera adecuada. La limpieza del área se realizó con el scoop cat R1300G, una máquina diseñada para cargar y transportar materiales en trabajos de minería y construcción.



Figura 15. Construcción de la CA-555.

9) Shotcreteado de paredes y techo de la CA-555.

En la Figura 16 se representa el proceso de shotcreteado de las paredes y la caja techo de la CA-555, con la ayuda del área de sostenimiento. El concreto es mezclado y preparado en el equipo mixer y luego es impulsado a través del robot lanzador de concreto hacia las superficies a ser recubiertas.



Figura 16. Shotcreteado de paredes y techo.

10) Verificación del encofrado del piso y cunetas de la subestación.

En la Figura 17 se observa la verificación del encofrado del piso y las cunetas de la subestación. Este proceso implicó la inspección minuciosa de las estructuras de encofrado instaladas previamente en el piso y las cunetas de la subestación.



Figura 17. Encofrado del piso y cunetas de la subestación.

11) Excavación del agujero para la poza a tierra en la subestación y preparación de materiales.

En la Figura 18 se muestra el proceso de instalación de la poza a tierra en la subestación. Se inició con la excavación del agujero, seguido de la preparación del alambre de cobre tipo espiral, thorgel y cemento conductivo. Finalmente, se instaló la caja de registro para brindar acceso a los componentes eléctricos subterráneos.



Figura 18. Construcción de poza a tierra 1.

12) Traslado y vaciado de concreto para el piso de la subestación.

En la Figura 19 se presenta el vaciado de concreto para el piso de la subestación. Este proceso implicó el transporte de los materiales necesarios para la construcción del piso. Posteriormente, se vertió el concreto en el área designada, nivelándolo y compactándolo adecuadamente para formar una superficie sólida y estable para la subestación eléctrica.



Figura 19. Construcción de poza a tierra 2.

13) Construcción de la estructura del techo con materiales específicos.

En la Figura 20 se muestra el techado de la subestación, con materiales que incluyeron tubos de fierro negro de 1 ½", ángulos de 2", calamina plástica de 3 metros y mallas perimétricas de cocada de 2". Estos materiales se utilizaron para comenzar la construcción de la estructura del techo y su posterior techado.



Figura 20. Construcción del techo de la subestación.

14) Traslado del transformador de 500kVA y fabricación e instalación de su pörtico.

En la Figura 21 se visualiza el proceso de fabricación e instalación del pörtico del transformador de 500 kVA. Este procedimiento permitió la construcción de una estructura metálica diseñada específicamente para proteger la entrada al transformador.



Figura 21. Fabricación del pörtico e instalación del transformador.

15) Traslado de la celda de media tensión, tableros de distribución y control.

En la Figura 22 se observa el traslado de la celda de media tensión, el tablero de distribución y el tablero de control desde el nivel -20 hacia la subestación ubicada en el nivel +40, con la asistencia del scoop cat R1300G.



Figura 22. Traslado de la celda de media tensión.

16) Fabricación e instalación del portón principal de la subestación, pintado y colocación de letreros.

En las Figura 23 y 24 se muestra el proceso de fabricación e instalación del portón principal de la subestación. Este proceso abarcó desde la fabricación y ensamblaje del portón hasta su instalación en la entrada principal. Además, incluyó la aplicación de pintura para protección y estética, la colocación de letreros informativos y la instalación de un soporte para extintor.



Figura 23. Construcción del portón principal de la subestación



Figura 24. Puesta de letreros preventivos

- 17) Terminaciones de cables de media y baja tensión y conexiones correspondientes.

En la Figura 25 se visualiza el proceso de realización de las terminaciones termocontraíbles y autocontraíbles de los cables de media y baja tensión. Durante este procedimiento se aplicó material termocontraíble y autocontraíble en los extremos de los cables, asegurando así las conexiones eléctricas.



Figura 25. Terminaciones termocontraíbles y autocontraíbles.

- 18) Conexión de cables de media y baja tensión, megado del cable de baja tensión.

En la Figura 26 se observa la conexión de cables de media y baja tensión en la subestación, lo que implicó conectar el cable de media tensión desde la celda al transformador de alta y el cable de baja tensión desde el transformador hacia el tablero de distribución. Además, se realizó el

megado del cable de baja tensión para verificar su resistencia eléctrica, siendo esta de 4,56 gigas ohmios.



Figura 26. Conexión de los cables de media y baja tensión en la subestación.

19) Instalación del cable de media tensión desde la superficie hasta la subestación.

En la Figura 27 se ilustra el proceso de ingreso del cable de media tensión 3x95 mm², desde la superficie hasta el Xc-849, utilizando un taladro. Posteriormente, con el apoyo del cargador frontal, se transportó el cable hacia la subestación CA-555, ubicada en el nivel +40. Luego, se procedió al tendido del cable con la ayuda del scoop R1300G.



Figura 27. Ingreso del cable de media tensión desde la superficie.

20) Conexión del cable de media tensión a la celda de media tensión y fusible.

En la

Figura 28 se observa la conexión del cable de media tensión $3 \times 95 \text{ mm}^2$ a las tres fases de la celda de media tensión, junto con el fusible de 400 amperios. Este procedimiento implicó la unión del cable a cada una de las fases de la celda de media tensión, asegurando así la transmisión segura y eficiente de la electricidad.



Figura 28. Conexión del cable de media tensión a las fases de la celda.

21) Bloqueo de la subestación del NV 0 para realizar las conexiones finales.

En la Figura 29 se muestra el bloqueo de la subestación en el Nivel 0 para conectar la línea de media tensión con un cable de aluminio de 120 mm² a la cometa de la subestación en el mismo nivel. Además, se realizó la conexión del cable de media tensión de 3x95mm² al *cut-out* del tercer poste en el Nivel +40.



Figura 29. Bloqueo de la subestación del NV 0.

22) Energización de la subestación y realización de pruebas de funcionamiento.

En la Figura 30 se observa el proceso de energización de la subestación en el Nivel 0, donde se activaron las fases R, S y T. Posteriormente, se realizaron pruebas de funcionamiento en la subestación del Nivel +40, que incluyeron suministrar energía al jumbo frontonero y al ventilador de 30 000 CFM, mientras se verificaba que los parámetros de tensión estén dentro de los límites establecidos.



Figura 30. Energización de la subestación en el Nivel 0.

23) Entrega del proyecto al área de planeamiento de la minera.

La Figura 31 muestra el proyecto culminado y listo para su entrega al área de planeamiento de la minera. Este proceso implicó la finalización de todas las actividades relacionadas con la implementación de la subestación y la documentación de todos los pasos y pruebas realizados. Una vez completado, el proyecto fue entregado al área de planeamiento de la minera para su revisión y aceptación final. Esta etapa marcó el cierre formal del proyecto y la transición hacia la etapa de operación y mantenimiento de la subestación.



Figura 31. Subestación culminada

CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1. Resultados finales de las actividades realizadas

La implementación del proyecto generó mejoras significativas en la distribución de energía destinada a los equipos operativos en la zona de extracción y producción de la mina. Entre los beneficios más destacados se encuentran la reducción de la caída de tensión en el sistema, evitando las pérdidas de energía y la parada constante de los equipos, y la eliminación de la intervención recurrente del personal eléctrico de la mina para el cambio de fusibles de los *cut-outs* de la subestación principal y los ramales, optimizando así el tiempo y los recursos humanos.

Además, se solucionó el problema de recalentamiento de los conductores que abastecían energía desde la subestación principal de la mina en superficie hasta el nivel +40, que cubría una distancia aproximada de 1,5 kilómetros. Esta mejora no solo garantizó un suministro eléctrico más confiable, sino que también contribuyó a la reducción de costos y la optimización de los recursos.

Asimismo, se logró una reducción significativa en los costos relacionados con la compra de conductores de mayor dimensión para el abastecimiento de energía en el interior de la mina, lo que representó un ahorro importante para la unidad minera. También se minimizaron los costos asociados con la facturación de consumo eléctrico por energía reactiva, contribuyendo a una gestión más eficiente de los recursos económicos.

En términos operativos, se mejoró de manera notable la distribución de energía para los equipos en el área de la mina, garantizando su disponibilidad y reduciendo posibles tiempos de inactividad. La implementación también permitió ahorrar los costos de montaje de la subestación en el interior de la mina, liberando aproximadamente \$50 000 que pudieron destinarse a la ampliación de equipos en la planta, fortaleciendo aún más la eficiencia y productividad de la empresa. En conjunto, estas mejoras reflejan la gestión estratégica de los recursos y una contribución significativa a la sostenibilidad económica y operativa de la organización minera.

5.2. Logros alcanzados

Se alcanzaron los siguientes logros:

- a) Se optimizó la distribución de energía para los equipos en la zona de extracción y producción en el área de la mina, lo que permitió reducir

significativamente las pérdidas y paradas frecuentes de los equipos. La instalación de la subestación, compuesta principalmente por un transformador de 500 kVA y conductores, garantizó una distribución eficiente de energía para los equipos, asegurando su disponibilidad continua y reduciendo las interrupciones no planificadas. Esta mejora respaldó la operación de la subestación, agilizando los procesos y evitando cortes inesperados de energía.

La Tabla 3 presenta la evaluación de los costos asociados con los cortes de energía en la operación minera. Se detalla el valor del mineral, el tiempo de corte de energía, así como los costos fijos y variables vinculados con el avance y la producción minera. Para el avance minero, se estableció que deberían realizarse 5 disparos por día, generando un avance de 375 metros taladrados al mes, con un costo de \$850 por metro. Con relación a la producción minera, se proyectó una extracción de 650 toneladas diarias, totalizando 19 500 toneladas al mes, con un costo de extracción de \$20 por tonelada.

Los cortes de energía durante 7 horas al mes resultan en pérdidas económicas significativas. Para el avance minero, se estimó una pérdida de \$3719, mientras que para la producción se calculó una pérdida de \$6300. Además, se detalló el impacto en el tratamiento, donde los cortes de energía provocan la pérdida de metros de avance y toneladas de mineral, generando pérdidas adicionales. En conclusión, los cortes de energía tienen un impacto significativo en la empresa minera, generando una pérdida económica total de \$47 381 al mes.

Tabla 3. Costos por corte de energía

Evaluación de costos por corte de energía							
Valor de mineral	US\$/ton						70
Corte de energía	h						7
Por costos fijos							
Valorización estimada por mes							
Descripción		disp/día	m/disp	día/mes	m/mes	US\$/m	US\$
Avance		5	2.5	30	375	850	318 750
		ton/día		día/mes	ton/mes	US\$/ton	US\$
Producción		650		30	19 500	20	390 000
Costos x disparo							
Descripción	h/disp	h/día	disp/mes	h/mes	US\$/h	h	US\$
Avances'	4	20	150	600	531.25	7	3719
Descripción	ton/h	h/día	ton/mes	h/mes	US\$/h	h	US\$
Producción	45	14	19500	433	900	7	6300
Subtotal							10 019
Por venta de concentrado							
Descripción		m/h	h	m	ton	V.M.	US\$
Avances'		0,625	7	4,38	218,75	70	15 313
Descripción		ton/h	h	ton	ton	V.M.	US\$
Producción		45	7	315	315	70	22 050
Subtotal							37 363
Pérdidas económicas por corte de energía							
						US\$	Total
Avances						US\$	15 313
Producción						US\$	22 050
Otros						US\$	10 019
Total costo						US\$	47 381

Nota: Elaborado a partir del reporte de mantenimiento eléctrico de la Unidad Minera Sierra Sumaq Rumi.

La instalación del nuevo transformador de 500 kVA en la subestación permitió optimizar la distribución de energía en la zona de extracción y producción en la mina. Antes de la implementación, la capacidad limitada de suministro eléctrico generaba pérdidas significativas y paradas frecuentes de los equipos debido a la sobrecarga del sistema. En la Tabla 4 se presenta un comparativo de los resultados antes y después de la

implementación de la subestación, con valores que corresponden a cinco meses anteriores y tres meses posteriores. Se aprecia una reducción significativa de las pérdidas de energía después de la implementación de la subestación, lo que indica una mejora en la eficiencia de la distribución de energía en la mina Sumaq Rumi. Las pérdidas de voltaje fueron calculadas considerando las características específicas del transformador y se expresaron en términos de pérdida de carga (carga resistiva y reactancia de carga); asimismo, se incluyeron las pérdidas resistivas de los conductores. Estos registros fueron tomados de los reportes de la Unidad Minera Sierra Sumaq Rumi.

Tabla 4. Registro de energía

Mes	Energía (V) (antes)	Energía (V) (después)
Agosto	409,5	
Septiembre	406,5	
Octubre	357,83	
Noviembre	409,167	
Diciembre	409,13	
Abril		439,2
Mayo		445,8
Junio		440,0
Promedio	398,4	441,0

Nota: Tomado del reporte de mantenimiento eléctrico de la Unidad Minera Sierra Sumaq Rumi.

Sin embargo, con el nuevo transformador y la adecuada distribución de energía a través de conductores de mayor capacidad, se logró una reducción notable de pérdidas y paradas de los equipos, toda vez que se incrementó el nivel de energía (voltaje). En promedio, la energía antes se mantenía en 408,7 V y después en 430,5 V. Esto se debe a que el transformador de mayor capacidad pudo satisfacer la demanda energética de manera más eficiente, evitando sobrecargas y manteniendo la operación continua de los equipos. En la Figura 32 se observa el traslado del transformador de 500 kVA del NV +115 superficie hacia la subestación del NV +40 para su instalación definitiva.



Figura 32. Transformador de 500 kVA.



Figura 33. Medición de los tableros de control de los equipos.

Después de la instalación de la subestación se realizó la verificación de los parámetros de tensión en el tablero de control. Los resultados fueron de 439; 445,8 y 440 en las tres fases de la línea. La tensión de la unidad Sierra Sumaq Rumi es oscilante, varía de 435 a 455 voltios, lo cual es la tensión con que trabajan los equipos; menos de 430 ya sería una caída de tensión.

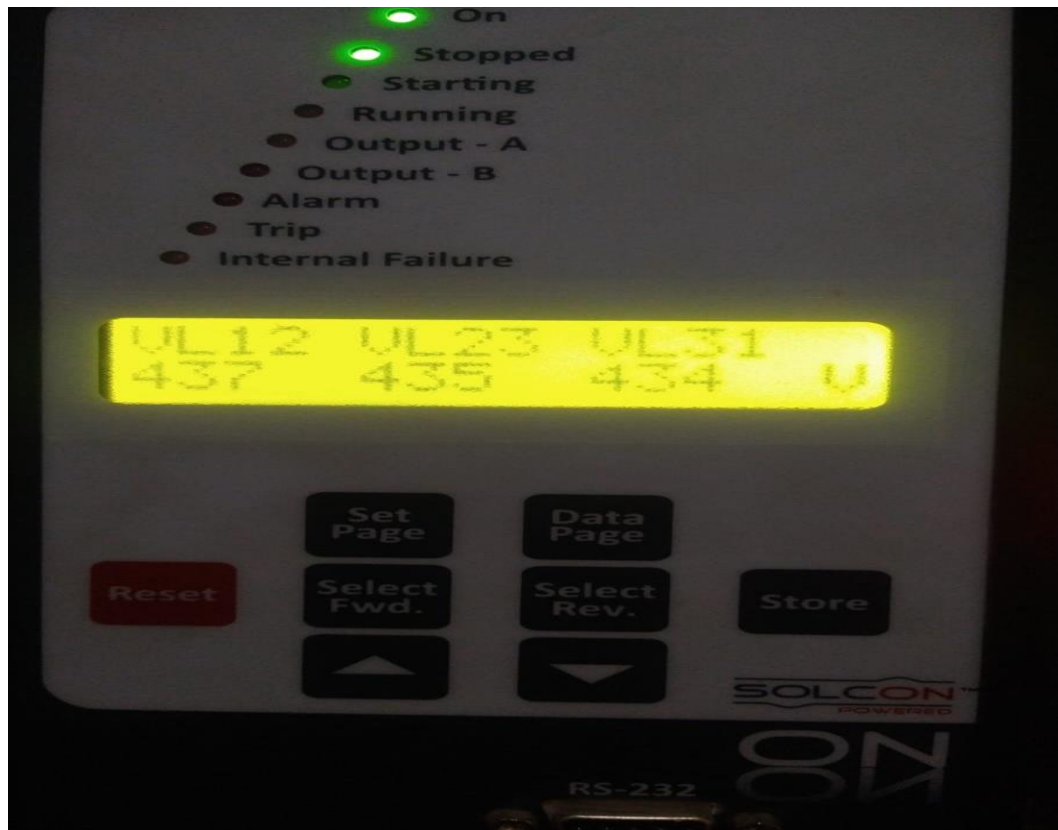


Figura 34. Medición de los tableros de control de las tres líneas de fase.

- b) Se solucionó el problema de recalentamiento de los conductores con la instalación eficiente de la subestación, mediante la cual ha sido posible distribuir la energía eléctrica a las diversas instalaciones y áreas de la mina. Es necesario precisar que este tipo de procedimiento se realiza con la finalidad de aportar y agilizar procesos técnicos en interior de mina, favoreciendo la optimización de la extracción de la materia prima.

En la Figura 35 se muestra la instalación de los conductores en la nueva subestación. Antes, los conductores se recalentaban debido a la limitada capacidad de suministro eléctrico en la mina, lo que generaba una sobrecarga en el sistema. Sin embargo, con la instalación de los nuevos conductores de mayor sección transversal ($3 \times 95 \text{ mm}^2$ para las fases y $1 \times 50 \text{ mm}^2$ para el neutro) y la optimización de la distribución de energía mediante la subestación, se pudo reducir la carga en el sistema eléctrico, lo que a su vez disminuyó la resistencia en los conductores y evitó el recalentamiento. Además, la inclusión de un fusible con una capacidad nominal de 100 amperios en el circuito correspondiente proporcionó una protección

adicional contra posibles sobrecargas, contribuyendo así a mantener la temperatura de los conductores dentro de niveles seguros y evitando el problema de recalentamiento.



Figura 35. Instalación de conductor de $3 \times 95 \text{ mm}^2 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$ en celda de MT.

- c) Se eliminó la caída de tensión en el sistema eléctrico de la Unidad Minera Sumaq Rumi, reduciendo las pérdidas de energía y eliminando las paradas constantes de los equipos. Además, se suprimió la intervención recurrente del personal eléctrico para el cambio de fusibles de la subestación principal y los ramales, lo que optimizó el tiempo y los recursos humanos.

En la Tabla 5, “antes” se refiere a los valores anteriores a la implementación de la subestación, mientras que “después” se refiere a los valores posteriores. Se observa una significativa reducción en la caída de tensión después de la implementación de la subestación en comparación con los valores anteriores. Además, se redujo la frecuencia de los eventos de reposición, lo que indica una mejora en la estabilidad y eficiencia del sistema eléctrico.

Tabla 5. *Caída de tensión antes y después de la implementación*

Mes	Caída de tensión (antes)	Caída de tensión (después)	Evento de reposición (antes)	Evento de reposición (después)
Agosto	409,5 V	-	435 V	-
Septiembre	406,5 V	-	438 V	-
Octubre	357,83 V	-	449 V	-
Noviembre	409,167 V	-	440 V	-
Diciembre	409,13 V	-	445 V	-
Promedio	398,4 V	-	441,4 V	-

Nota: Tomado del reporte de mantenimiento eléctrico de la Unidad Minera Sierra Sumaq Rumi.

d) Costo de implementación: Para la determinación del costo de implementación se realizó la cotización entre tres empresas de servicios: Min. Hersa, Anback y Alyabe. Los trabajos se dividieron en diferentes ítems como personal, obra civil, fabricación e instalación de estructura metalmecánica, instalación de transformador y conexiones, entre otros. Alyabe fue la empresa que presentó los costos más bajos en la implementación, con \$56 800 (ver Tabla 7).

La Tabla 6 detalla los costos asociados a la implementación de la subestación de 500 kVA en el interior de la mina, incluyendo rubros como personal, obra civil, fabricación e instalación de estructuras metalmecánicas, e instalación de transformador y conexiones. A modo de ejemplo, los costos correspondientes a los requerimientos ascendieron a \$59 285,71, siguiendo la propuesta de la Corporación Anback, lo cual estableció un ahorro significativo de \$18 715,47 en comparación con la opción de Hersa. Aunque la diferencia de costos era de un 24 % (calculada entre la diferencia de las propuestas de Hersa y Anback, de acuerdo con la Tabla 7), para la unidad minera fue necesario evaluar otras opciones y alternativas.

Tabla 6. Costo de implementación de Corporación Anback S.R.L.

Ítem	Descripción	Corporación Anback S.R.L.		
		Cant.	Pu	Costo (\$)
1	Personal			
1.1.	Técnicos mecánicos y electricistas	4	5200,00	20 800,00
1.2.	Supervisor de obra	1	8550,00	8550,00
2	Obras civiles			
2.1.	Excavación de canaletas y perfilación de paredes laterales			
2.2.	Armado y encofrado de piso			
2.3.	Vaciado de concreto en piso de subestación	1	11 600,00	11 600,00
2.4.	Instalación de pozo tierra			
3	Fabricación e instalación de estructura metalmecánica			
3.1.	Fabricación de cobertores de techo en subestación			
3.2.	Fabricación de puertas y estructura de canaleta	1	8200,00	8200,00
3.3.	Montaje de cobertor de techo y puertas			
4	Instalación de transformador y conexiones			
4.1.	Traslado de transformador de 500 kVA a interior mina			
4.2.	Tendido de cables eléctricos de MT y BT de superficie a mina			
4.3.	Traslado de celda MT y tablero de control de BT	1	10 135,71	10 135,71
4.4.	Conexiones e instalación de transformador 500 kVA			
4.5.	Pruebas y puesta en operación			
	Total			59 285,71
	Ahorro			-18 715,47
	Var (%)			-24 %

5.3. Dificultades encontradas

A continuación, se detallan las dificultades encontradas durante el desarrollo de este estudio:

- Dificultad en la disponibilidad de información confidencial de la empresa. Se enfrentó a la limitación de acceso a ciertos datos confidenciales de la empresa, lo que dificultó la obtención de información crucial para el estudio, como detalles específicos sobre operaciones internas o políticas empresariales sensibles.
- Dificultad para acceder a los informes, resoluciones, actas y otros documentos. La obtención de informes, resoluciones, actas u otros documentos relevantes para el proyecto se vio obstaculizada debido a restricciones de acceso o procedimientos administrativos complejos, lo que

limitó la capacidad de recopilar información completa y detallada para el análisis.

- Retrasos administrativos. Se experimentaron demoras en la obtención de la aprobación de ciertos procedimientos administrativos necesarios para avanzar en el proyecto. Estos retrasos afectaron el cronograma previsto y añadieron presión adicional al equipo encargado de la implementación de la subestación.
- Cambios en la planificación del tiempo y de las actividades. La planificación inicial del tiempo y de las actividades se vio afectada por cambios imprevistos en los requisitos del proyecto o en las prioridades operativas de la empresa. Estos cambios requirieron ajustes continuos en la estrategia y la programación, lo que generó complejidades adicionales en la gestión del proyecto.

5.4. Planteamiento de mejoras

5.4.1. Metodologías propuestas

Las propuestas de mejora consistieron en la recuperación y tendido de conductores en NV +40 superficie, la construcción de la subestación eléctrica en NV +40, la recuperación de celda de media tensión en NV -20 y el traslado y tendido de conductor de media tensión.

5.4.2. Descripción de la implementación

Para la implementación de este proyecto se trabajó con el personal del área de mantenimiento mecánico y eléctrico:

- Recuperación, izado de poste y tendido de conductor NV +40 superficie. Se realizó la recuperación de un poste de 8 metros desde una relavera y su traslado a la laguna Azul Cocha, con la ayuda de una excavadora. Se efectuaron cortes de energía de baja tensión en subestaciones del nivel 115. También se excavaron agujeros para la instalación de postes y se izaron y alinearon los postes recuperados en la línea de red eléctrica. Asimismo, se realizaron conexiones y montajes de ferretería en los postes, se recuperaron conductores de aluminio y se trasladaron a nuevas ubicaciones. Además, se hizo el tendido y flechado de conductores de aluminio y cables de guarda en

la ubicación NV +40. Estas acciones formaron parte de un proceso de mantenimiento y mejora en la infraestructura eléctrica.

- Construcción de subestación NV +40. Se realizó la marcación de un punto para una subestación eléctrica de ciertas dimensiones y se solicitó a la empresa Gemin realizar la perforación y voladura para elevar la subestación. De igual forma, se limpió el área a fin de prepararla para el encofrado y vaciado de las zanjas y la base del transformador. También se trasladó el mortero necesario para el vaciado del piso de la subestación y se completó este proceso. Además, se hizo un requerimiento de materiales para la subestación, que incluyó elementos para el techado, kits de terminación, conductores de media tensión y otros materiales necesarios. Adicionalmente, se trasladaron estos materiales y se llevó a cabo el montaje de la estructura del techo de la subestación. Finalmente, se techó la subestación y se marcaron puntos para el talado de un servicio en la ubicación XC-849 hasta la subestación NV +40. Estas acciones formaron parte de un proceso de construcción y mejora de la infraestructura eléctrica.
- Desmontaje de subestación NV 15 superficie. Se realizó un corte de energía en la subestación NV 0, seguido del desmontaje de un transformador de 500 kVA en la ubicación NV 115. Esto implicó la desconexión de las terminales de media tensión, la remoción del tablero de distribución y la desconexión de un conductor de 300 mm². Luego, se trasladó el transformador de 500 kVA de la ubicación NV 115 a la subestación NV +40. El tablero de distribución de 400 A y el conductor de 300 mm² también fueron trasladados desde la ubicación NV 115 a la subestación NV +40 con la ayuda de un equipo scoop R1300G. Finalmente, se dejaron el transformador de 500 kVA y el tablero de distribución en la subestación NV +40. Estas acciones formaron parte de un proceso de reubicación de equipos y mantenimiento en la infraestructura eléctrica.
- Recuperación de celda de MT NV -20. Se efectuó un corte de energía en la subestación NV 0 de la mina y se confirmó la falta de energía. Luego, se desconectó el conductor de la celda y el transformador en la subestación NV -20, retirando tres fusibles de media tensión. La celda de media tensión fue retirada de la subestación NV -20 con la asistencia de un equipo scoop

R1300G. También se conectó el conductor de media tensión al *bushing* del transformador de 500 kVA y se restauró la energía en la subestación NV 0 en la superficie. La celda de media tensión se trasladó desde la subestación NV -20 a la subestación NV +40 con la ayuda de un equipo scoop R1300G. Finalmente, la celda y los fusibles se dejaron en la subestación NV +40, ubicación Xc-555. Estas acciones formaron parte de un proceso de reubicación y mantenimiento en la infraestructura eléctrica.

- Traslado y tendido de conductor de media tensión. Se trasladó el conductor de media tensión tetrapolar de $3 \times 95 \text{ mm}^2 + 2 \times 50 \text{ mm}^2$ a lo largo de 350 metros, desde la logística hasta la ubicación NV +40, con la ayuda de un cargador frontal. El cargador frontal también brindó apoyo para el uso de una porta bobina en NV +40 durante la instalación del conductor de media tensión. Luego, se efectuó el pretendido del conductor tetrapolar de media tensión a lo largo de 350 metros con la colaboración de 15 personas. El conductor tetrapolar de media tensión se pasó a través de un taladro de servicio de superficie hacia la ubicación XC 849 en NV +40. Posteriormente, se realizó el pretendido del conductor en XC 849 hasta la subestación eléctrica NV +40 con la ayuda de un equipo scoop R1300G. Además, se estandarizó la instalación del conductor de media tensión en XC 849 utilizando las correspondientes alcayatas. Estas acciones formaron parte de un proceso de instalación y mejora en la infraestructura eléctrica.
- Conexionado-terminación termocontraíble de media tensión en NV +40 superficie y mina. Se realizaron varias acciones que incluyeron el traslado de materiales y un kit de terminales de media tensión desde el taller de mantenimiento a la ubicación NV +40 en la superficie. Se efectuaron las terminaciones de media tensión en conductores tripolares, tanto en NV +40 en superficie como en la subestación eléctrica 40 en mina. Se procedió al conexionado de las terminaciones en el seccionador de media tensión en el poste de la superficie en NV +40 y en la celda de media tensión en la mina, en la misma ubicación. Además, se realizó la terminación del conductor puente de $95 \text{ mm}^2 + 1 \times 50$ para el conexionado del transformador hacia la salida de la celda de media tensión, así como el conexionado del conductor de media tensión en la salida de la celda y la alimentación del transformador.

Estas acciones formaron parte de un proceso de instalación y conexión en la infraestructura eléctrica.

- Conexión montaje de transformador y celdas de media tensión-baja tensión. Se llevaron a cabo diversas acciones que incluyeron el montaje de un transformador de 500 kVA. Además, se realizó el montaje de una celda de media tensión y se completó el montaje de un tablero de distribución. También se efectuó el tendido y conexión de un conductor de $3 \times 300 \text{ mm}^2$, desde el tablero de distribución hacia el transformador de 500 kVA en el lado de baja tensión. Adicionalmente, se realizó el conexión del mismo conductor en el tablero de distribución y en el transformador de 500 kVA en el lado de media tensión. Estas acciones formaron parte de un proceso de montaje y conexión en la infraestructura eléctrica.
- Empalme y energizado de subestación NV +40. Se realizó un corte de energía en la subestación eléctrica NV 0 y se confirmó la ausencia de energía en el conductor para permitir el empalme de este. Posteriormente, se efectuó el empalme de un conductor de 120 mm^2 utilizando un conector paralelo de media tensión en una línea existente en la superficie de NV +40. Luego, se colocaron fusibles de media tensión en el seccionador de NV +40 en la superficie y se verificó la línea, asegurándose de que no quedaran herramientas. Entonces, se restableció la energía en la subestación NV 0 y se realizaron pruebas de funcionamiento en la celda y el transformador. Luego, se recuperaron luminarias y un conductor de baja tensión de $3 \times 12 \text{ AWG}$ de diversas ubicaciones para iluminar la subestación y se instaló un tablero de servicio para el control de la iluminación. Estas acciones permitieron poner en funcionamiento la subestación NV +40 y garantizar la iluminación adecuada en la ubicación.

5.5. Análisis

La subestación eléctrica en la unidad minera mejoró la eficiencia, seguridad y continuidad de las operaciones mineras, pues garantizó una adecuada gestión de la energía eléctrica. Al respecto, es preciso mencionar que el incremento de equipos eléctricos generaba riesgos de paradas intempestivas, lo cual afectaría la seguridad y productividad. Por esta razón, el proyecto de implementación contribuyó al crecimiento

y desarrollo de la empresa, por lo que es importante proponer mejoras y coordinar con todas las áreas sobre el mantenimiento.

5.6. Aporte del bachiller en la empresa y/o institución

En una empresa es importante optimizar las operaciones para garantizar el desarrollo continuo de las actividades mineras y la seguridad de los trabajadores. En ese sentido, el investigador desarrolló sus labores en la mina y en la planta en el área de mantenimiento mecánico, identificando que la unidad minera tenía limitada su capacidad de suministro eléctrico en las zonas de profundización, como resultado del crecimiento del uso de equipos eléctricos esenciales para el desarrollo de las operaciones mineras. Esta situación generaba riesgo de interrupciones frecuentes, lo cual, en el ámbito minero, puede tener consecuencias graves en términos de seguridad y productividad.

En dicho contexto, la intervención del ingeniero industrial se materializó por medio de la planificación de un proyecto para la implementación de una nueva subestación eléctrica en la mina, con la finalidad de mejorar la provisión de energía, garantizando un suministro eléctrico estable y disminuyendo las paralizaciones no planificadas. De esta manera, el profesional contribuyó con mejorar la eficiencia operativa y la seguridad al cumplir con los estándares adecuados que lograron reducir los riesgos de incidentes relacionados con la electricidad.

Por tanto, se aportó con la planificación del proyecto bajo los estándares requeridos para la optimización y garantía de la distribución del sistema eléctrico en condiciones óptimas, evitando interrupciones no planificadas y pérdidas económicas considerables. De esta manera, se redujeron los costos, se mejoró la operatividad y se implementó un suministro eléctrico confiable, lo que tuvo un impacto positivo en la eficiencia, la productividad y la sostenibilidad económica de la empresa minera.

5.7. Comparación de costo de implementación de la subestación

La Tabla 7 proporciona una comparación detallada de los costos de implementación en el interior de la mina entre tres empresas de servicios: Min. Hersa, Anback y Alyabe. Se dividen en diferentes ítems como personal, obra civil, fabricación e instalación de estructura metalmecánica, instalación de transformador y conexiones, entre otros.

Tabla 7. Comparación de costos de implementación

Comparación de costos de implementación de la subestación										
Ítem	Descripción	Min. Hersa			Anback			Alyabe		
		Cant.	PU	Costo (\$)	Cant.	PU	Costo (\$)	Cant.	PU	Costo (\$)
1	Personal									
1.1.	Técnicos mecánicos y electricistas	6	5500,00	33 000,00	4	5200,00	20 800,00	4	4950,00	19 800,00
1.2.	Supervisor de obra	1	9000,00	9000,00	1	8550,00	8550,00	1	8000,00	8000,00
2	Obra civiles									
2.1.	Excavación de canaletas y perfilación de paredes laterales									
2.2.	Armado y encofrado de piso			14						
2.3.	Vaciado de concreto en piso de subestación	1	14 500,00	500,00	1	11 600,00	11 600,00	1	11 850,00	11 850,00
2.4.	Instalación de pozo tierra									
3	Fabricación e instalación de estructura metalmecánica									
3.1.	Fabricación de cobertores de techo en subestación									
3.2.	Fabricación de puertas y estructura de canaleta	1	9500,00	9500,00	1	8200,00	8200,00	1	7950,00	7950,00
3.3.	Montaje de cobertor de techo y puertas									
4	Instalación de transformador y conexiones									
4.1.	Traslado de transformador de 500 kVA a interior de mina									
4.2.	Tendido de cables eléctricos de MT y BT de superficie a mina	1	12 001,18	12 001,18	1	10 135,71	10 135,71	1	9200,00	9200,00

4.3.	Traslado de celda MT y tablero de control de BT			
4.4.	Conexiones e instalación de transformador 500 kVA			
4.5.	Pruebas y puesta en cooperación			
	Total	78 001,18	59 285,71	56 800,00
	Ahorro		-18 715,47	- 21 201,18
	Var (%)		-24%	- 27 %
5	Costos incurridos adicionales	Unidad	Precio (S/)	Subtotal (S/)
5.1	Pasajes por movilidad	Global	445,5	445,5
5.2	Equipos de protección personal	Global	245,5	245,5
5.3	Llamadas telefónicas/celular	Global	65,5	65,5
5.4	Internet	Global	125,4	125,4
5.5	Copias, impresiones	Global	88,5	88,5
5.6	Materiales de escritorio	Global	95,5	95,5
5.7	Otros gastos	Global	125,6	125,6
	Total (S/)			1195,5

En cuanto al personal, la Min. Hersa tenía un costo total de \$33 000 para técnicos mecánicos y electricistas, mientras que Anback y Alyabe presentaban costos más bajos, \$20 800 y \$19 800, respectivamente. Sin embargo, Alyabe ofreció el precio más competitivo para el supervisor de obra, con un costo de \$8 000. En obra civil, Min. Hersa tuvo el mayor costo para la excavación de canaletas y perfilación de paredes laterales, con \$14 500, seguida de Alyabe, con \$11 850, y Anback, con \$11 600.

En fabricación e instalación de estructura metalmecánica, Min. Hersa presentó un mayor costo para la fabricación de cobertores de techo en subestación, con \$9500, seguida de Anback, con \$8200, y Alyabe, con \$7950. En cuanto a la instalación de transformador y conexiones, Anback ofreció un menor costo para el traslado de transformador de 500 kVA a interior de mina, con \$10 135,71, seguida de Alyabe, con \$9200, y Min. Hersa, con \$12 001,18.

El total de costos por empresa fue de \$78 001,18 para Min. Hersa, \$59 285,71 para Anback y \$56 800 para Alyabe. Por tanto, con Anback se lograba un ahorro significativo en comparación con las otras dos empresas, por un monto de \$18 715,47 respecto a Min. Hersa y \$21 201,18 respecto a Alyabe, lo que representaba una variación porcentual del -24 % y -27 %, respectivamente. En conclusión, Alyabe presentó los costos más bajos para la implementación de la subestación de 500 kVA en la Unidad Minera Sumaq Rumi. No obstante, considerando la referencia de las propuestas se estableció que lo ideal era realizar el trabajo de forma interna, es decir, solo se consideraron los materiales y equipos para su inversión, mientras que los costos de mano de obra fueron incluidos en los pagos de los trabajos del personal.

Asimismo, los costos adicionales incurridos se estimaron en S/1195,5, los cuales incluyeron gastos por concepto de pasajes, equipos de protección, entre otros, todos necesarios para la ejecución de las actividades.

CONCLUSIONES

1. La implementación de la subestación de 500 kVA en la ubicación XC-849, CA-555 del NV +40, en la Unidad Minera Sumaq Rumi, aseguró el suministro eléctrico necesario para las operaciones mineras. Los trabajos involucraron diferentes acciones coordinadas que incluyeron la recuperación, izado y tendido de postes y conductores, la construcción de subestaciones eléctricas, el desmontaje y traslado de equipos, así como el conexionado y montaje de transformadores y celdas de media y baja tensión. Dichas acciones contribuyeron significativamente a mejorar la eficiencia en la distribución de energía en la mina, asegurando una mayor disponibilidad de equipos y reduciendo los tiempos de inactividad.
2. Con la implementación de la subestación de 500 kVA, se logró reducir la caída de tensión en el sistema eléctrico de la Unidad Minera Sumaq Rumi, pasando de 395,625 V a 150 V, lo que resultó en una reducción de pérdidas de energía y en la eliminación de paradas constantes de los equipos. Además, se eliminó la intervención recurrente del personal eléctrico para el cambio de fusibles de la subestación principal y los ramales, lo que optimizó el tiempo y los recursos humanos.
3. La implementación de la subestación de 500 kVA permitió mitigar el recalentamiento de conductores en la transmisión de energía dentro de la mina, al instalar conductores de $3 \times 95 \text{mm}^2 + 1 \times 50 \text{mm}^2$ en la celda de media tensión. Esta solución no solo garantizó un suministro eléctrico más confiable, sino que también contribuyó a la reducción de costos y optimización de los recursos, mejorando así la eficiencia operativa de la mina.
4. Los trabajos para la implementación de la subestación de 500 kVA generaron ahorros para la empresa minera. En un estudio de mercado se determinó que la empresa de servicios Alyabe ofrecía el mejor costo, representando un ahorro significativo en comparación con otras propuestas, con un total de \$56 800. Sin embargo, se estableció que lo ideal era realizar el trabajo de forma interna, es decir, solo se consideraron los materiales y equipos para su inversión, mientras que los costos de mano de obra fueron incluidos en los trabajos del personal, lo que permitió destinar recursos adicionales a la ampliación de equipos en la planta, fortaleciendo aún más la eficiencia y productividad de la unidad minera.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la unidad minera mantener un programa de seguimiento y mantenimiento preventivo regular de la subestación y otros equipos eléctricos importantes, así como continuar con la capacitación del personal de mantenimiento a fin de asegurar un manejo adecuado y una respuesta eficiente ante cualquier eventualidad en el funcionamiento de la infraestructura eléctrica.
2. Al personal de mantenimiento, establecer un plan de monitoreo constante del sistema eléctrico para detectar cualquier indicio de caída de tensión u otras anomalías. Asimismo, se sugiere mantener actualizados los procedimientos de mantenimiento preventivo a fin de garantizar la eficiencia operativa a largo plazo y evitar interrupciones no planificadas en las operaciones mineras.
3. A la unidad minera y al personal de mantenimiento, continuar con el monitoreo regular de la temperatura de los conductores y otros componentes críticos del sistema eléctrico. Además, se insta a revisar periódicamente los procedimientos de operación y mantenimiento para identificar oportunidades de mejora y optimización de recursos.
4. La unidad minera debe considerar la posibilidad de establecer acuerdos a largo plazo con proveedores confiables y competitivos, como la empresa Anback, para futuros proyectos de implementación y mantenimiento de infraestructura eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

1. SIERRA SUN GROUP. Sierra Sun Group, minería sostenible [en línea]. 2016 [fecha de consulta: 12 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://pe.linkedin.com/company/sierrasungroup>.
2. SPEIRS, Graham. *Global Business Reports* [en línea]. 2022 [fecha de consulta: 22 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.gbreports.com/interview/graham-speirs>
3. FERNÁNDEZ, Néstor. *Manual de proyectos*. Andalucía: Junta de Andalucía, 2010.
4. MONDRAGÓN, Diana. *Formulación y evaluación de proyectos*. Bogotá: Fundación Universitaria del Área Andina, 2017.
5. RAMÍREZ, Carlos. *Subestaciones de alta y extra alta tensión* (2a ed.). Colombia: Mejía Villegas S. A., 1991.
6. SUBESTACIONES eléctricas, transformando y distribuyendo energía. *Eléctrica*. 2011, 1(34), 16-19 [fecha de consulta: 30 de julio de 2022]. Disponible en: <https://electronica.mx/wp-content/uploads/2019/02/Electronica34.pdf>
7. DAMMERT, Alfredo, MOLINELLI, Fiorella y CARBAJAL, Max. *Fundamentos técnicos y económicos del sector eléctrico peruano*. Perú: Osinergmin, 2011. Disponible en: <https://shorturl.at/PBiMO>
8. MARTÍNEZ, C. *Subestaciones eléctricas*. México: 2012.
9. GARCÍA, Santiago. *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid: Díaz de Santos, 2010.
10. TECSA. La importancia del mantenimiento de subestaciones eléctricas [en línea]. 2020 [fecha de consulta: 25 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.tecsagro.com.mx/blog/mantenimiento-de-subestaciones-electricas>
11. VÁZQUEZ, Alan. Mantenimiento preventivo de subestaciones eléctricas: importancia y beneficios. *SISSA* [en línea]. 2023 [fecha de consulta: 27 de julio de 2022]. Disponible en: <https://shorturl.at/wr6zM>
12. REPINEL. La importancia del mantenimiento predictivo de subestación eléctrica en plantas industriales. *Repinel* [en línea]. 2021 [fecha de consulta: 20 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://repinel.com.mx/la-importancia-del-mantenimiento-predictivo-de-subestacion-electricas-en-plantas-industriales-2/>

13. ELEMENTOS claves para el suministro de energía eléctrica. *Rumbo Minero*. 2022, 147, 114-128. Disponible en:
<https://rumbominero.com/ED147/index.php?pag=116> [fecha de consulta: 22 de septiembre de 2022].
14. HERNÁNDEZ, Roberto y MENDOZA, Christian. *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixtas*. Ciudad de México: Mc Graw Hill, 2018.
15. ÑAUPAS, Humberto y otros. *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*. Bogotá: Ediciones de la U, 2014.
16. ESPINOZA, Ciro. *Metodología de investigación tecnológica*. Huancayo: Imagen Gráfica S.A.C., 2010.

ANEXOS

Anexo 1: Presupuesto
Propuesta económica de Min. Hersa E.I.R.L.



COTIZACIÓN N°: **COT-MH-SSG-20_003**

martes, 20 de Octubre de 2022

A : Ing. Juan Sanchez Puma
Suoperintendente de Mantenimiento y Energia

DE : Ing. John Herrera Saavedra.
Representante MINHERSA E.I.R.L.

ASUNTO : PROPUESTA ECONÓMICA

REFERENCIA : CONSTRUCCION E INSTALACION DE SUBESTACION EN INTERIOR MINA.

Señores:

Sirva el presente documento para hacerle llegar nuestros más cordiles saludos y presentar nuestra mejor propuesta por el servicio solicitado en cual se menciona líneas abajo.

*** PROPUESTA ECONÓMICA:**

CONSTRUCCION E INSTALACION DE SUBESTACION EN INTERIOR MINA

\$. 78,001.18 **Dolares**

SON:

SETENTA Y OCHO MIL UN CON 18/100 DOLARES

- ✓ El precio no incluye I.G.V.
- ✓ El valor de venta en dolares americanos.
- ✓ Validez de oferta: 30 días
- ✓ Tiempo de entrega de trabajo: 1 meses 10 días hábiles después tener la orden de servicio y las autorizaciones de ingreso.

*** LA PROPUESTA ECONÓMICA CONTEMPLA LO SIGUIENTE:**

- ✓ Personal tecnico calificado
- ✓ EPP para el personal asignado al proyecto.
- ✓ Traslado de personal hacia la ciudad de Huancayo y alimentacion
- ✓ Brindara equipos y herramientas consideradas en la presente propuesta.

*** EL CLIENTE PROPORCIONARÁ:**





- ✓ Estará a cargo de traslado del personal ida y vuelta de la ciudad de Hyo/Lima hacia U.M. AZULCOCHA.
- ✓ Entregará diseños, planos de la construcción de la subestacion.
- ✓ Brindará informacion acerca de los trabajos a realizar con alcances si son actividades de alto riesgo.
- ✓ Dará facilidades al camión para el ingreso y salida de equipos y herramientas.
- ✓ Induccion para trabajos temporales y actividades de alto riesgo.
- ✓ Entregara el área libre para los trabajos
- ✓ Energía 220v y 440v
- ✓ Dará apoyo con camión grúa para traslado de transformador, cables electricos e insumos .
- ✓ Suministrará acero estructural a requerir para la estructura previa a instalar.
- ✓ Punto de aire comprimido para equipos taladro neumático.
- ✓ Alojamiento para el personal los días de servicio.

Atte:




Ing. John Herrera S.
Cel: 998231414
jherrera.minheresa@gmail.com



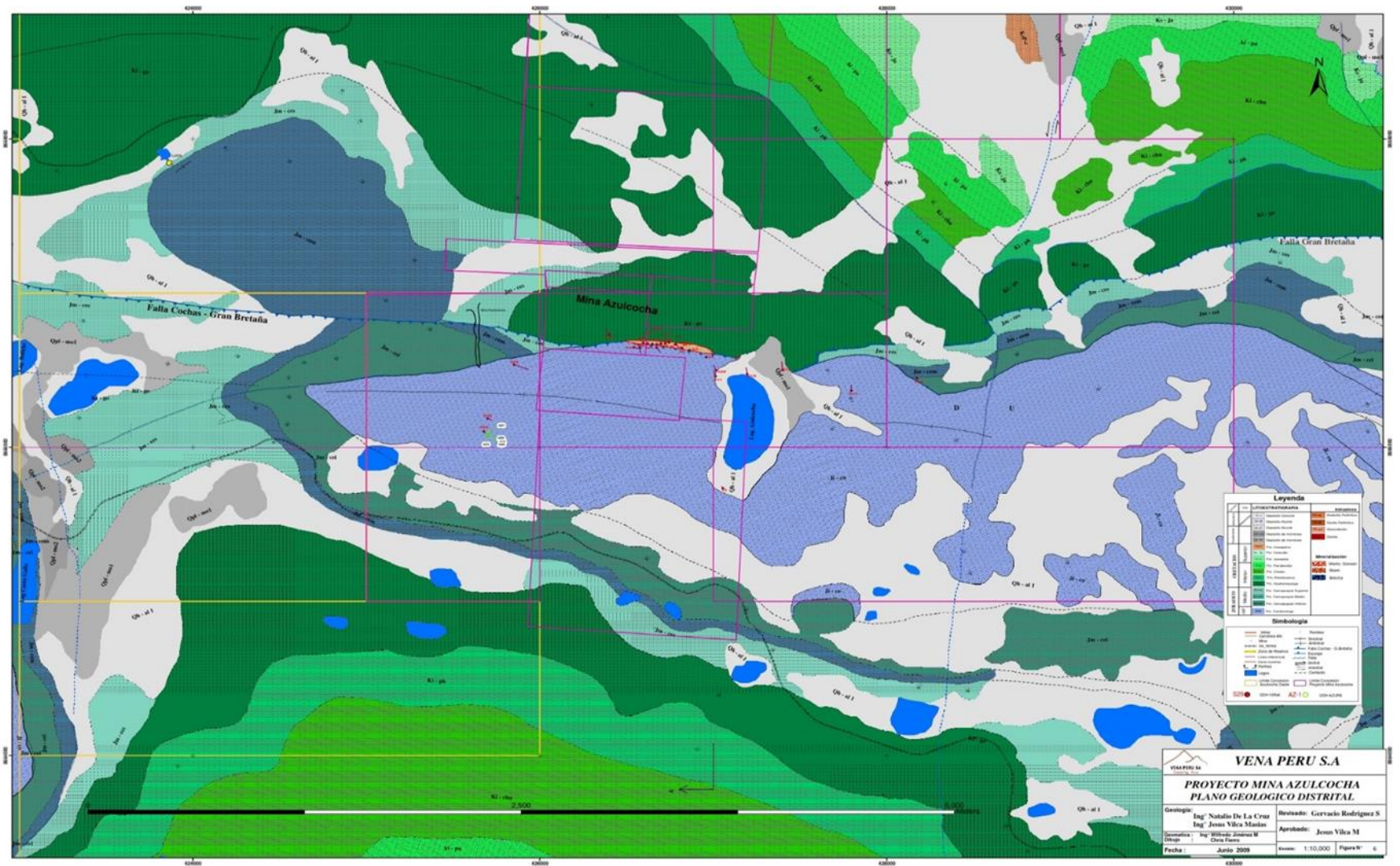
Propuesta económica de Corporación Anback S. R. L.

 CORPORACIÓN ANBACK SRL	Telefono Fijo: 959539821	Elaborado: SIG	FC-01-01						
	Ruc:20601059682	Revisado: G.O.	Revisión: 1						
	anback@anback.com	Aprobado: G.G.	Fecha: 03-01-2022						
CLIENTE: SIERRA SUMAQ RUMI SAC		NUM DE COTIZACIÓN: COT-AB-2022-0010							
ATENCIÓN: ING. PERCY CRUZ AGUSTIN									
AREA: JEFE DE MANTENIMIENTO MECANICO		FECHA: 10/11/2022							
REFERENCIA: INICIO DE ACTIVIDADES									
CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACION EN MINA SIERRA SUMAQ RUMI									
Item	Descripción	Und.	Cant / Pers.	Días Trab.	P.U. \$	P.Parcial \$	P. Total \$		
1	OBRAS PROVISIONALES						\$11,624.38		
1.1	Movilización y Desmovilización de equipos y herramientas	g/b	1		\$907.03	\$907.03			
1.2	Instalaciones de obra, equipos de trabajo y económico.	g/b	1		\$800.11	\$800.11			
1.3	Seguridad y señalización	g/b	1		\$800.12	\$800.12			
1.4	Limpieza de frentes de trabajo	g/b	1		\$602.35	\$602.35			
1.5	Alquiler e instalación de herramientas multidireccionales para el servicio.	día	5	50	\$33.54	\$6,385.00			
2	OBRAS PROVISIONALES						\$1,023.88		
2.1	Toma de datos en campo, levantamiento topográfico.	g/b	1		\$606.25	\$606.25			
2.2	Trazo y replanteo	g/b	1		\$417.63	\$417.63			
3	OBRAS DE METALMECÁNICA						\$36,736.50		
3.1	INGENIERÍA								
3.1.1	Diseño, elaboración de planos constructivos, elaboración de memoria de cálculo estructural de cobertura y subestación	g/b	1		\$2,203.00	\$2,203.00			
3.2	FABRICACIONES								
3.2.1	Suministro, Fabricación y Montaje de estructura metálica para cobertura de la subestacion en mina	kg	7,000		\$4.00	\$28,000.00			
3.2.2	Suministro e instalación de poza a tierra, conexiones eléctrica, traslado e instalación de transformadore	m2	510		\$12.85	\$6,593.50			
COSTO DIRECTO DEL SERVICIO							\$49,404.76		
GASTOS GENERALES							10.00%	\$4,940.47	
UTILIDAD							10.00%	\$4,940.47	
COSTO DEL SERVICIO SIN IGV							\$59,285.71		
<p>Son: Cincuenta y nueve mil doscientos ochenta y cinco y 71/100 Dólares Americanos.</p> <p>CONDICIONES COMERCIALES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los costos estan dados en Dólares americanos. • La Presente Cotización no incluye el IGV. <p>Nota:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 El costo presentado es por 20 días de fabricación en taller de Huancaayo y 30 días de montaje en obra, después de recibida la orden de compra. 2 Sierra sumaq rumi, debe de provisionar energía 220v y 440v para la ejecución de los trabajos. 3 Sierra sumaq rumi, debe de provisionar el campamento habitación para todo el personal de supervisión y técnicos para la ejecución de los trabajos. 4 Se considera el costo de la alimentación, SCTR, transporte de colaboradores equipos y materiales. 									
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">FIRMA AUTORIZADA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  </td> </tr> </table>								FIRMA AUTORIZADA	
FIRMA AUTORIZADA									
									

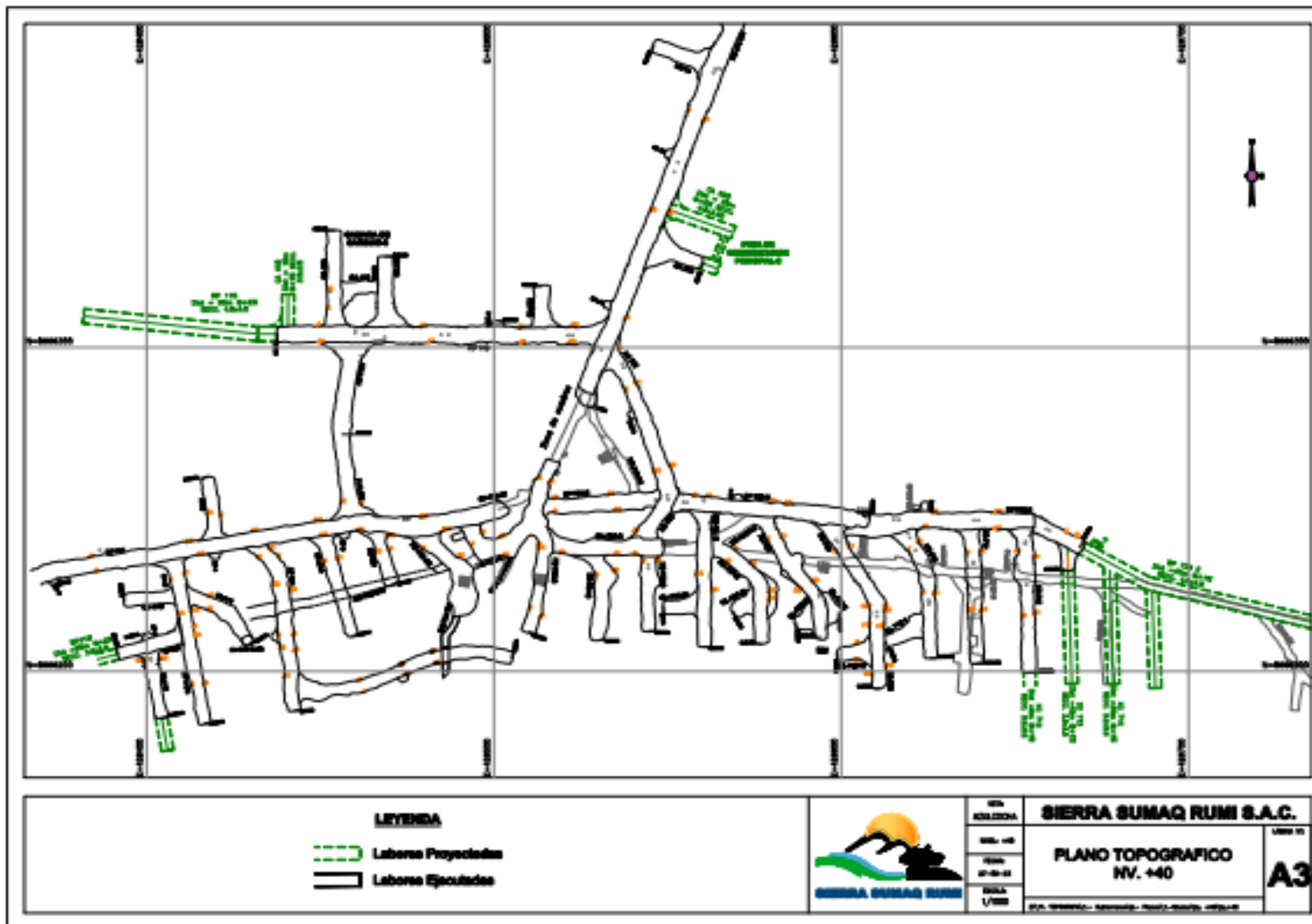
Propuesta económica de Corporación Alyabe S.R.L.

		PRESUPUESTO				
Código: ALY-P-CP-001 Ver: 02		Área: Costos y Presupuestos				
PROYECTO: MONTAJE E INSTALACION DE SUBSTACION EN INTERIO MNA COT. N°: CASRL N° 8838-885-23 Rev. 06. SUMINISTRO DE MONTAJE E INSTALACION DE SUBSTACION EN INTERIOR MNA CLIENTE: SIERRA SUN GROUP UBICACION: HUANCAYO FECHA BASE: 28 01 2023 MONEDA: DOLARES						
Estimado Ingeniero: De nuestra especial Consideración: Por la presente le hacemos llegar nuestra Propuesta Técnica y Económica por el servicio solicitado de: Montaje e instalación de subestación en interior mina.						
ITEM	DESCRIPCIÓN	Unidad	Medido	P. Unit US \$	Sub Total US \$	Modalidad de Partida
1	MONTAJE E INSTALACION DE SUBSTACION EN INTERIO MNA				56,800.00	
1.1	HITOS DEL PROYECTO					
1.1.1	HITO INICIO DE PROYECTO	UND		0.00	0.00	
1.1.2	HITO FIN DE PROYECTO	UND	1.00	0.00	0.00	
1.2	OBRAS CIVILES				18,000.00	
1.2.1	EXCAVACION DE CANALES Y PERFORACION DE PAREDES LATERALES	UND				
1.2.2	ARMADO Y ENCOFRADO DE PISOS	UND				
1.2.3	VACIADO DE CONCRETO DE LA SUBSTACION	UND	1.00	18,000.00	18,000.00	
1.2.4	INSTALACION DE PUESTA A TIERRA	UND				
1.3	INSTALACION ELECTROMECANICA				13,200.00	
1.3.1	TRASLADO DE TRANSFORMADOR DE 500 KVA DE ALMACEN A INTERIO MNA	UND				
1.3.2	TRASLADO DE CELDA DE MEDIA TENSION, TABLERO DE DISTRIBUCION	UND	1.00	13,200.00	13,200.00	
1.3.3	TENDIDO DE CABLE DE 3X39MM2 DESDE SUPERFICIO HACIA INTERIO MNA	UND				
1.4	CONEXION ELECTRICA Y PUESTA EN OPERACION				25,600.00	
1.4.1	CONEXION DE MEDIA TENSION HACIA EL TRANSFORMADOR	UND				
1.4.2	CONEXION ELECTRICA DEL TRANSFORMADOR HACIA LA CELDA DE MEDIA TENSION	UND	1.00	25,600.00	25,600.00	
COSTO DIRECTO					56,800.00	
SUBTOTAL					56,800.00	
SON: ONCE MIL QUINIENTOS CON 00/100 DOLARES ESPECIFICACIONES 1 Los precios están dados en Dólares y no incluye el IGV. 2 Plazo de entrega : 01 mes después de recibida la orden de servicio y el adelanto 3 Forma de Pago:70% de adelanto saldo contraentrega 4 Lugar de entrega : En nuestras instalaciones de la Planta Huachipa 5 Modalidad de Contrato: Mano Alzada ALCANCES DE PARTE DEL CLIENTE: 1 Aprobar la presente cotización y las especificaciones ALCANCES DE PARTE DE ALYABE: 1 Suministrar todo lo indicado en la presente cotización EXCEPCIONES 1 Alcances no contemplados líneas arriba se consignará partidas como adicionales 2 No incluye montaje 3 No incluye tableros de control eléctricos 4 No incluye diseños de montaje						
Av. Cajamarquilla N°1 Lote A, Urb. Huevo - Lurigancho Teléfono: 7191980 WWW.ALYABE.COM				Pisco Pisco C ALYABE S 		

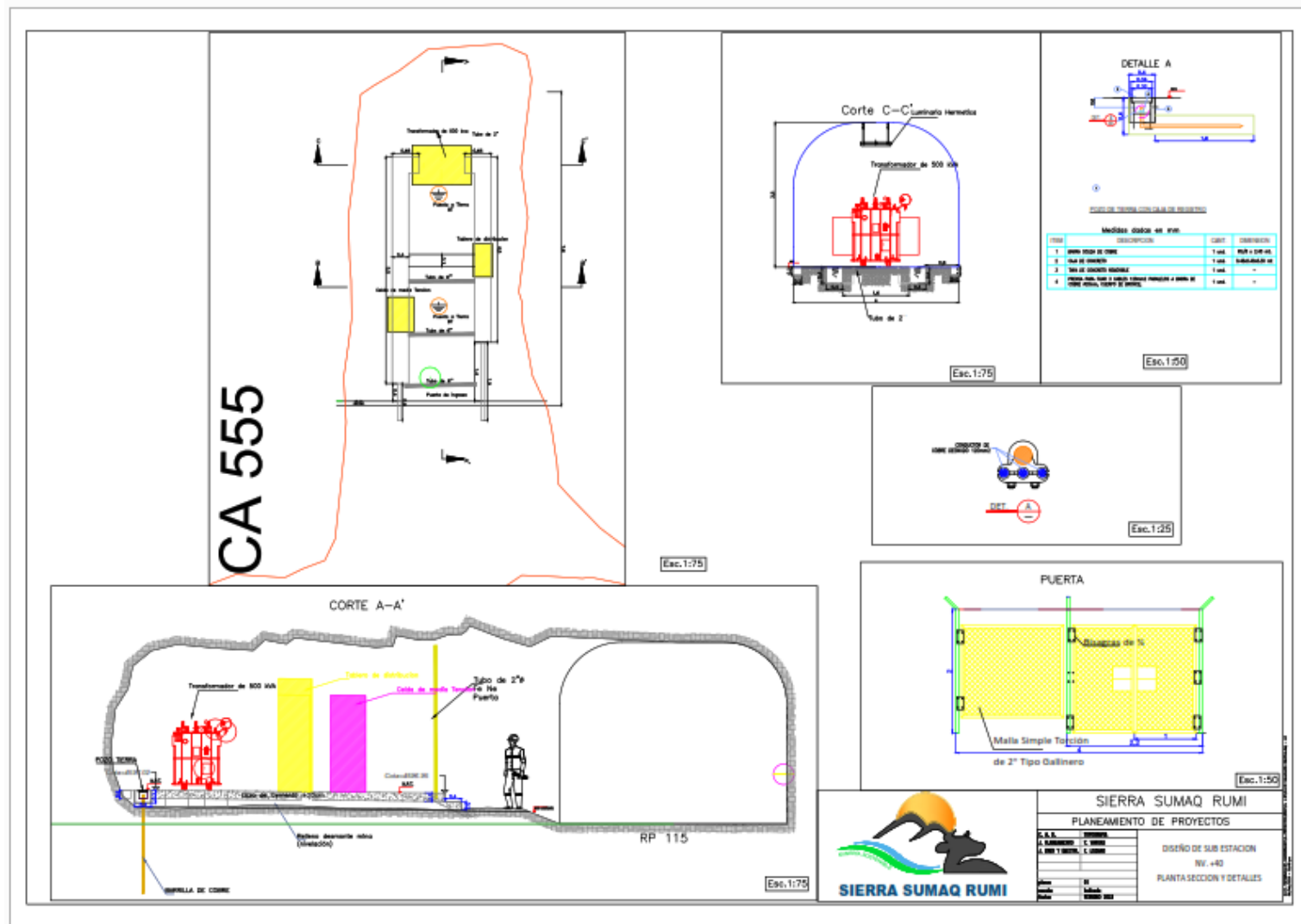
Anexo 3: Geología local



Anexo 4: Plano topográfico de la unidad minera



Anexo 5: Plano de subestación NV +40



Anexo 6: Evidencias (formatos, fotografía, otros)

Desmontaje de conductor de aluminio de 120 mm²

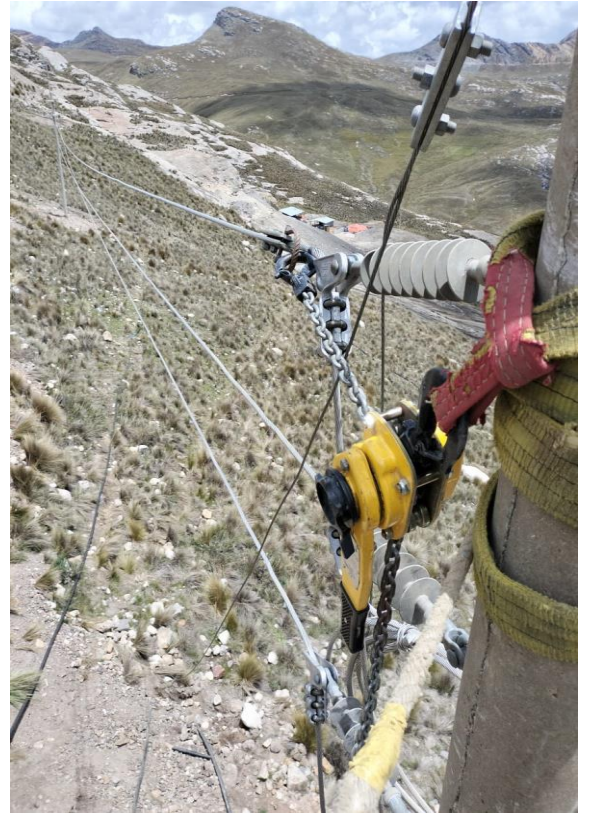


Excavación, alineación de poste en nivel

Izaje y tensado de conductor de aluminio de 120 mm²



Encofrado de piso de ambiente para subestación



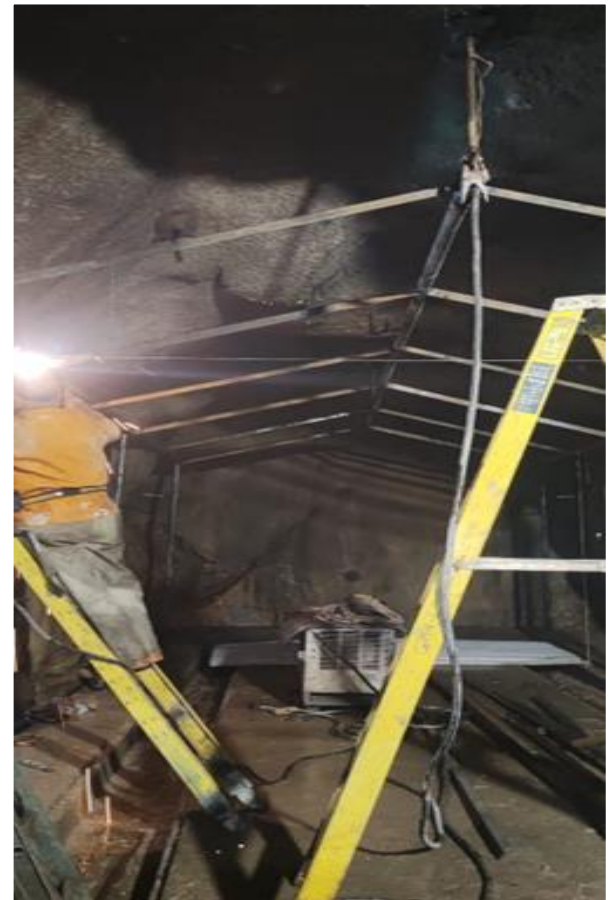
Excavación, tendido de resistencia, preparado de thorgel para poza tierra



Vaciado de concreto en loza de subestación del NV +40



Traslado de materiales a la subestación NV +40



Habilitación de materiales, armado de estructura para el techo



Instalación de calaminas de plástica al 100 %



**Traslado del transformador del NV +115 superficie hacia la subestación NV +40.
RQ-232,0254.**



Fabricación e instalación de techo en subestación para el transformador 500 kVA



Fabricación y montaje de las puertas del fondo y principal. Desconexión y traslado de celda de media tensión de la subestación -20 a subestación +40



Pintado de ambas puertas y atención de la RQ-232 y 254

Traslado de cable eléctrico de media tensión $3 \times 95 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$ del almacén a la parte alta de la SSEE +40



Tendido de cable eléctrico desde la superficie hasta la subestación, con el apoyo del personal de mina y equipos. Estandarizado de cable eléctrico en las alcayatas. Se realiza terminaciones termo contraíble y autocontraíble al cable de MT en la subestación NV +40.



Instalación de conductor de $3 \times 95 \text{ mm}^2 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$ en celda de MT. Instalación de fusible de 100 amp



Conexión de línea de MT aéreo cometida de la subestación NV 0



Instalación de tablero de distribución 100 %

