

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

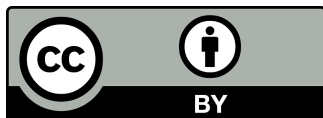
**Model to Improve the Energy Distribution Network through a
Generator Set and Support with Capacitors to Satisfy the
Maximum Demand in a Mining Site**

Walter Ramon Alvarado Laveriano
Jose Antonio Velasquez Costa
Herbert Antonio Vilchez Baca

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Lima, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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 : Jose Antonio Velasquez Costa
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 21 de Diciembre de 2024

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

Título:

Model to improve the energy distribution network through a generator set and support with capacitors to satisfy the maximum demand in a mining site

URL / DOI:

https://laccei.org/LACCEI2024-CostaRica/full-papers/Contribution_1227_final_a.pdf
/10.18687/LACCEI2024.1.1.1227

Autores:

1. Walter Ramon Alvarado Laveriano – 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 12% 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: < 20 | 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)

Model to improve the energy distribution network through a generator set and support with capacitors to satisfy the maximum demand in a mining site

Walter Alvarado-Laveriano, Student¹ , José Velasquez-Costa, PhD² , Herbert Vilchez-Baca, M.Eng.³ 
^{1,2,3}Universidad Continental, Perú, 40674193@continental.edu.pe, jvelasquez@continental.edu.pe, hvilchez@continental.edu.pe

Abstract– This research work describes a project to improve the electrical installations of a mining site in Peru due to energy shortage problems. The mining site is vital for the national production of silver, lead and zinc, which boosts the economy and generates employment. The lack of electricity supply affects ventilation in underground workings and other operations. The capacity of the existing generator sets does not cover the demand, and energy is rationalized, generating outages in the camp and other operational areas, affecting the quality of life of the collaborator. The improvement proposal consists of centralizing two generating sets in the same place, a main GE and an auxiliary one, an installation design is proposed that covers the sizing of the generating set to the power distribution, and applying reactive power compensation through capacitors. A model 3508TA generator set with a power of 680 KW is selected. The implementation of a 2.3kV medium voltage network is also proposed. The implementation of the model will be carried out considering safety regulations to preserve the health of the collaborator, the development of the activities of the mining site initially is at 35.6% after the implementation of the improvement model is calculated at an average of 84.5%, that is, there was an improvement of 48.9%. The validation of the project will be carried out using simulation software and specialized tools. In summary, the project seeks to solve the electricity supply problems in the mining site, improve operational efficiency and guarantee sustainable development in the future.

Keywords–Generator set, maximum demand, reactive power, transformer, energy transmission.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Modelo para mejorar la red de distribución de energía mediante grupo electrógeno y apoyo con condensadores para satisfacer la demanda máxima en un asiento minero

Walter Alvarado-Laveriano, Student¹ , José Velasquez-Costa, PhD² , Herbert Vilchez-Baca, M.Eng.³ 

^{1,2,3}Universidad Continental, Perú, 40674193@continental.edu.pe, jvelasquez@continental.edu.pe, hvilchez@continental.edu.pe

Abstract— This research work describes a project to improve the electrical installations of a mining site in Peru due to energy shortage problems. The mining site is vital for the national production of silver, lead and zinc, which boosts the economy and generates employment. The lack of electricity supply affects ventilation in underground workings and other operations. The capacity of the existing generator sets does not cover the demand, and energy is rationalized, generating outages in the camp and other operational areas, affecting the quality of life of the collaborator. The improvement proposal consists of centralizing two generating sets in the same place, a main GE and an auxiliary one, an installation design is proposed that covers the sizing of the generating set to the power distribution, and applying reactive power compensation through capacitors. A model 3508TA generator set with a power of 680 KW is selected. The implementation of a 2.3kV medium voltage network is also proposed. The implementation of the model will be carried out considering safety regulations to preserve the health of the collaborator, the development of the activities of the mining site initially is at 35.6% after the implementation of the improvement model is calculated at an average of 84.5%, that is, there was an improvement of 48.9%. The validation of the project will be carried out using simulation software and specialized tools. In summary, the project seeks to solve the electricity supply problems in the mining site, improve operational efficiency and guarantee sustainable development in the future.

Keywords—Generator set, maximum demand, reactive power, transformer, energy transmission.

Resumen— El presente trabajo de investigación describe un proyecto de mejora en las instalaciones eléctricas de un asiento minero en Perú debido a problemas de desabastecimiento de energía. El asiento minero es vital para la producción nacional de plata, plomo y zinc, lo que impulsa la economía y genera empleo. La falta de suministro eléctrico afecta la ventilación en las labores subterráneas, y otras operaciones. La capacidad de los grupos electrógenos existente no cubre la demanda, y se racionaliza la energía, generando cortes en el campamento y demás áreas operativas, afectando la calidad de vida del colaborador. La propuesta de mejora consiste en centralizar dos grupos electrógenos en un mismo lugar un GE principal y otro auxiliar, se plantea un diseño de instalación que abarca del dimensionamiento del grupo electrógeno hasta la distribución de energía, y aplicar compensación de potencia reactiva mediante condensadores. Se selecciona un grupo electrógeno modelo 3508TA con una potencia

de 680 KW. También se propone la implementación de una red de media tensión de 2.3kV. La implementación del modelo se llevará a cabo considerando normativas de seguridad para preservar la salud del colaborador, el desarrollo de las actividades del asiento minero inicialmente se encuentra en 35.6% después de la implementación del modelo de mejora se calcula en un promedio de 84.5%, es decir hubo una mejora de 48.9%. La validación del proyecto se realizará mediante software de simulación y herramientas especializadas. En resumen, el proyecto busca solucionar los problemas de suministro eléctrico en el asiento minero, mejorar la eficiencia operativa y garantizar un desarrollo sostenible en el futuro.

Palabras claves: Grupo electrógeno, demanda máxima, potencia reactiva, transformador, transmisión de energía.

I. INTRODUCCIÓN

La actividad minera a nivel nacional es importante debido que el “Perú es el segundo productor de plata, cobre y zinc a nivel mundial”[1], el cual impulsa a la reactivación económica y así mismo es una fuente de generación de empleo de manera directa e indirecta, indican que por cada empleo directo se viene generando ocho empleos de manera adicional que van detrás de las otras actividades nacionales[2], de la misma manera, la minería aporta en diferentes sectores de la industria, tales como construcción, electrónicas, alimentación, belleza, higiene, desarrollos tecnológicos, este último indica que “las laptops, tablets y computadoras están fabricadas con metales como el cobre presente en las tarjetas madre y en los cables de conexión”[3], adicionalmente se produce otros minerales tales como el oro, plata, aluminio, mercurio, plomo, cadmio, níquel, hierro y zinc y estos son extraídos gracias a la actividad minera.

Para que haya desarrollo en cualquiera actividad es importante contar con la energía eléctrica debido que es objetivo de desarrollo sostenible, en zonas rurales o alejadas de la ciudad carecen de este servicio, por ser un indicador de desarrollo e integración conlleva a incentivar el desarrollo socioeconómico en las comunidades y los beneficios se ven reflejados en la calidad de vida reduciendo la pobreza [4].

El asiento minero, al cual llamaremos CMBSA cuenta con una capacidad de suministro de potencia instalada de 350 kilowatts (kW) el cual está dividido en dos grupos electrógeno GE de 250 y 100 kW respectivamente, la potencia de carga instalada es de 616.72 kW a un factor de demanda de 70%, el cual nos indica la capacidad de potencia de suministro no garantiza el factor de la demanda máxima de carga instalada,

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

para dar preferencia a las operaciones se genera cortes de energía sectorizadas afectando la calidad de vida de los colaboradores, y generando un bajo desarrollo en los avances de las exploraciones mineras.

En consecuencia, el asiento minero cuenta con una problemática el cual es el desabastecimiento de energía eléctrica, para suplir esta necesidad se necesita desarrollar un diseño de ingeniería para garantizar el suministro de manera constante sin interrupciones y a un costo accesible a la inversión de la empresa, a razón de esto, se desarrollará un modelo de mejora donde se van a considerar el dimensionamiento óptimo de grupo electrógeno, red de distribución, implementación de estación y sub estación de distribución en superficie y socavones (interior mina), considerando apoyo mediante condensadores y la seguridad en las instalaciones para preservar la vida de los colaboradores, además un costo estimado de inversión para la implementación del proyecto.

II. ESTADO DEL ARTE

A. *La electricidad como energía de vital importancia para el Desarrollo*

La electricidad es fundamental para la vida, debido que son fuentes muy importantes, si no hay electricidad no hay desarrollo, en estos tiempos modernos esta energía cada vez su uso está siendo más diversificada [5]. La energía eléctrica es muy utilizada, y su fácil aplicación para la transformación en otras energías sea la mecánica, térmica, lumínica, química, son de aplicaciones cada vez más relevantes por ende se ha vuelto fundamental para el desarrollo industrial, además de sus transformaciones energéticas son comúnmente adaptable en cualquier lugar y ambiente lo que hace que el suministro sea de manera continua ahorrando el tiempo por fallas, lo que nos facilita la adaptación en cualquier lugar y nivel de potencia, su campo de aplicación son adaptables en cualquier zonas rurales, sobre todo alejadas de difícil acceso a si mismo presenta la facilidad de una aplicación de generación distribuida [6].

B. *Generación de energía eléctrica mediante grupo electrógeno (GE)*

Los grupos electrógeno GE tienen la función de suministrar energía eléctrica a las instalaciones, asumiendo parcial o totalmente la alimentación de las cargas instaladas [7]. Los grupos electrógenos están diseñados o preparados para trabajar las veinticuatro horas del día durante los siete días de la semana, estos equipos únicamente pararán solo para la ejecución de sus mantenimientos preventivos que serán cada 250 horas de servicio, de no realizarse estos mantenimientos correspondientes los equipos van a bajar su rendimiento ocasionando paradas imprevistas por falencias mecánicas o eléctricas; detrás del funcionamiento de los grupos electrógenos hay una adecuada estrategia de implementación de mantenimiento, para aprovechar la vida útil de este activo, durante este periodo de mantenimiento se

deben de utilizar los materiales y aditivos adecuados para realizar esta tarea, además de someterlo a revisiones con el fin de elaborar un análisis de fiabilidad, mantenibilidad disponibilidad, utilización, etc. Así garantizar el funcionamiento durante el próximo periodo que asume su marcha [8][9]. Los grupos electrógenos en su mayoría son instalados de manera local sobre todo en lugares alejados donde no puede estar presente la red nacional, en zonas de difícil acceso, por lo general estos son asientos mineros, zonas rurales, obras de infraestructura vial [8]. Cuando existe cortes de la red convencional (sistema interconectado nacional) una alternativa importante son las conocidas plantas generadoras mediante grupos electrógenos, estas máquinas eléctricas son una composición de un motor de combustión interna que impulsa mediante movimiento rotacional acoplado a un generador eléctrico, hacen que mediante la teoría de inducción y autoinducción mutua se engendra una fuerza electromotriz en el campo estatístico del generador, luego se recoge mediante escobilla el flujo de electrones (corriente eléctrica) para ser distribuido a los consumidores que vendrán ser las cargas; estas máquinas eléctricas es posible encontrarlos de los 500VA hasta los 500KVA e incluso superior a esta potencia, lo que hace más complejo su operación y mantenimiento, pero logra desarrollar energía suficientes para abastecer cualquier tipo de carga, sobre todo soporta picos de arranques transitorios propiamente por los efectos de las cargas mismas [6].

C. *Transformación de nivel de la energía eléctrica*

Las máquinas eléctricas conocidas como transformador de tensión son aquellos que cumplen una función importante en la lado de distribución de energía, muchas de están maquinas son usados como elevadores de tensión otros como reductores, ambos son muy utilizados en las diferentes industrias, estas máquinas son seleccionadas de acuerdo a la necesidad de las demandas, también existe máquinas que no transforman el nivel de tensión solo mantienen, esto con la finalidad de proteger las instalaciones de algunas anomalías que se pudieran montar en la red, lo cual son conocido como transformador de aislamiento [10][11][12].

D. *Seguridad transporte y selección de conductor de energía*

La seguridad eléctrica es una normativa que rige el código nacional de electricidad (CNE), el diseñador debe cumplir responsablemente el estricto estándar de seguridad al realizar un diseño de instalaciones eléctricas [5]. Para el transporte de la energía se debe diseñar cuidadosamente los sistemas de protección, cuando se trata de transportar la energía a larga distancia se debe cumplir ciertas normas que se encuentran suscritos en el código nacional de electricidad del Perú; de la misma manera se debe cumplir con seleccionar el tipo de transporte (pudiendo ser de tipo aéreo o subterráneo) en ambos casos la norma exige cumplimiento con los requisitos de seguridad en el montaje e instalaciones, esto con el fin de

preservar la vida y la salud de los colaboradores que intervienen en esta actividad [13][14].

En las instalaciones eléctricas, el transporte de energía se hace a través de hilos de cobre recocido o de aleación de aluminio, en los centros distribuidores de energía son más conocidos como conductores eléctricos; estos se seleccionan por la capacidad de corriente a transportar y se determina por la caída de tensión (ΔV) lo cual consiste en calcular la sección mínima y normalizada de dicho conductor, así mismo deben de cumplir los requisitos que exige la norma de suministro y utilización del código nacional de electricidad [15][16][17]. Esto conductores o cables de energía deben ser no propagadores de la llama, no propagadores de incendio y debe cumplir una baja emisión de humos, para ello deben tener un diseño adecuado que cuenten con aislamiento apantallados individualmente, y con una línea aparte para conducir la energía redundante a un sistema de puesta tierra [18][19][20].

E. Potencia reactiva y técnicas de compensación

En una instalación de energía eléctrica siempre se va ver comprometido por la distorsión armónica, debido que los artefactos contienen componentes electrónicos, y estos son una de las varias causas que tienden a generar estos tipos de defectos, lo que ocasiona que contamina la red, para esto existen técnicas para poder contrarrestarlos, una es haciendo uso de los condensadores. Los condensadores son equipos muy valiosos, la ubicación estratégica de este dispositivo ayudara hacer uso eficiente de las instalaciones en general [21][22][23]. La ubicación optima de los bancos de condensadores, muchos lo realizan al inicio de los alimentadores sin embargo esto se puede resumir como un tema o problemática de optimización, que apunta a definir el lugar, tipo y tamaño de condensador para realizar su instalación, a esto se suma el costo de instalación y operación del sistema eléctrico [24].

Cuando se integran de manera conjunta los capacitores y generadores distribuidos, estos presentan grandes mejorías en la red funcional de distribución eléctrica, haciendo que baje el consumo de potencia reactiva de la red, como resultado se logra bajar el ángulo coseno del factor de potencia haciendo que se acerque a la unidad [25]. De la misma manera el autor también señala que existe un modelo matemático para describir el problema donde se puede localizar y realizar el dimensionamiento optimo del sistema de distribución con los respectivos bancos de condensadores en sistemas distribuidos y este modelo llamado PNLEM, sobre todo funciona en horas puntas u horas picos de funcionamiento [25].

III. SITUACIÓN INICIAL

A. Caso de estudio

El asiento minero inicio sus operaciones con cargas emergentes según sus necesidades básica de operación estos fueron cargas puntuales como son máquinas de perforación diamantina (para sondear reservas mineralógicas) tres módulos que fueron usados como vivienda para alojar a los

colaboradores, un módulo para servicio de comedor y pequeñas cargas distribuidas para necesidades básicas; a través del tiempo los resultados de las exploraciones geológicas son y siguen siendo favorable el cual abre paso a convertirse de un proyecto a un asiento minero sólido, significa que en adelante hay extracción de mineral y el requerimiento de colaboradores ascendieron, cuando inicio el proyecto se prescindía de 18 colaboradores actualmente asciende a 90, el cual nos indica el consumo de energía eléctrica se encuentra en crecimiento en las distintas áreas operativas, al momento urge la necesidad de desarrollar un diseño que garantice el abastecimiento de energía sin interrupción alguna, se plantea una alternativa de solución que inicia desde el punto de generación (mediante grupo electrógeno) hasta las sub estaciones de distribución, además a la instalación se apoyara con condensadores, sobre todo cuando haya la necesidad de hacerlo; el condensador es un dispositivos que ayudara a compensar el consumo de potencia reactiva y por ende aliviara las caídas de tensión sobre todo en los ramales y/o finales de carga.

En la Fig.1 se muestra los niveles geográficos del asiento minero en metros sobre el nivel del mar “msnm”, (información proporcionada por el departamento de mina y geología), en cada uno de estos niveles habrá concentración de cargas, en consecuencia, habrá consumo de energía eléctrica lo cual están ubicados en superficie (frente a los túneles) y dentro de ellos (socavón o interior mina).



Fig.1 Vista panorámica del asiento minero

B. Análisis de la problemática

El desabastecimiento de energía eléctrica es el problema principal del asiento minero, suceden por diferentes causas el cual genera retrasos en el desarrollo de los avances y exploraciones mineras, el análisis de la problemática se muestra en la Fig. 2 a través del árbol de identificación de problemas.

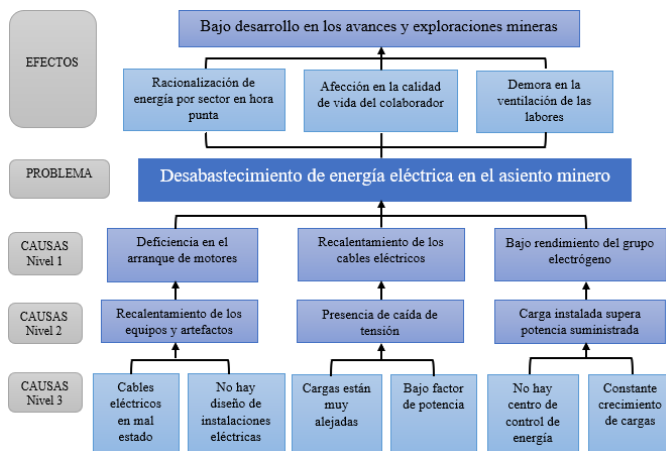


Fig. 2 Árbol de problemas del asiento minero

C. Diagnóstico actual de las instalaciones eléctricas

La alimentación de la energía eléctrica se encuentran divididas en dos GE, y están ubicados en distintos niveles conforme se indica en la Fig. 4, el encendido se realiza de manera manual e independiente, a razón de esto, no se tiene un control ordenado de operatividad, y más aún hay consumos como las máquinas de perforación diamantina que cambia constantemente de lugar, razón las necesidades operativas de exploraciones geológicas, en consecuencia, genera cambios rotundos en la estructura funcional del grupo como es el traslado de un lugar a otro. La Tabla I, identifica las potencias de cada grupo electrógeno.

TABLA I
RESUMEN PARCIAL DE POTENCIA INSTALADA

GRUPO ELECTRÓGENO	POTENCIA EN KW.	F.D.P COS ϕ	POTENCIA EN KVA.
GE.01	100	0.8	125
GE.02	250	0.8	313

El constante aumento de cargas hace que los GE, se vean enfrentados a problemas los cuales son:

1) La Fig. 3 indica la capacidad de potencia instalada de los grupos electrógenos (GE.01 y GE.02) no cubre el factor de demanda máxima de carga instalada, resumen de la Tabla II,

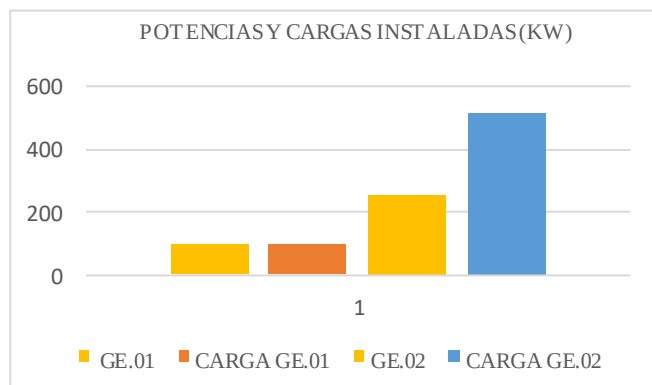


Fig. 3 Comparativo capacidad de potencia y carga instalada

las potencias de suministro son de 350 kW y se resta un factor por altitud de 35% dato del fabricante, en consecuencia, los grupos solo garantiza una potencia prime de 227 kW.

2) Se racionaliza la energía por sectores, sobre todo en la línea del GE.02; mayormente en horas puntas, 4am a 8am y de 4pm a 8pm, generando corte en el campamento, paraliza el funcionamiento de los equipos de cómputo, internet, red de telefonía, artefactos eléctricos, horno de panadería, estufas eléctricas en los dormitorios, afectando la calidad de vida de los colaboradores y demás actividades de la operación minera.

3) La instalación no cuenta con una estación y sub estación de distribución en superficie e interior mina, no hay facilidad de control de los consumos de potencia activa kW, reactiva kVAR, aparente kVA, THD, fdp, etc.

4) Las máquinas de perforación diamantinas se encuentran ubicados a más de 1.3 Km de distancia, y presenta caída de tensión (Δv) en periodos llega a bajar de 440 a 398 voltios, generando recalentamiento de los motores eléctricos, tableros de arranque etc., Y si las máquinas no cuentan con un sistema de puesta a tierra generarían riesgo de inducción.

5) El tiempo de ventilación de las labores subterráneas se realiza en 4 horas generado retraso en las operaciones.

6) Durante los turnos, a razón de priorizar el funcionamiento de las máquinas de perforación diamantina, (LM75; DIAMEC 262) se interrumpe el tiempo de carguío de los bancos de batería de las locomotoras, generado retraso de 3 hora en la extracción del mineral rocoso de los socavones.

En la Fig.4 se muestra de manera esquematizada la situación actual de las instalaciones eléctricas.

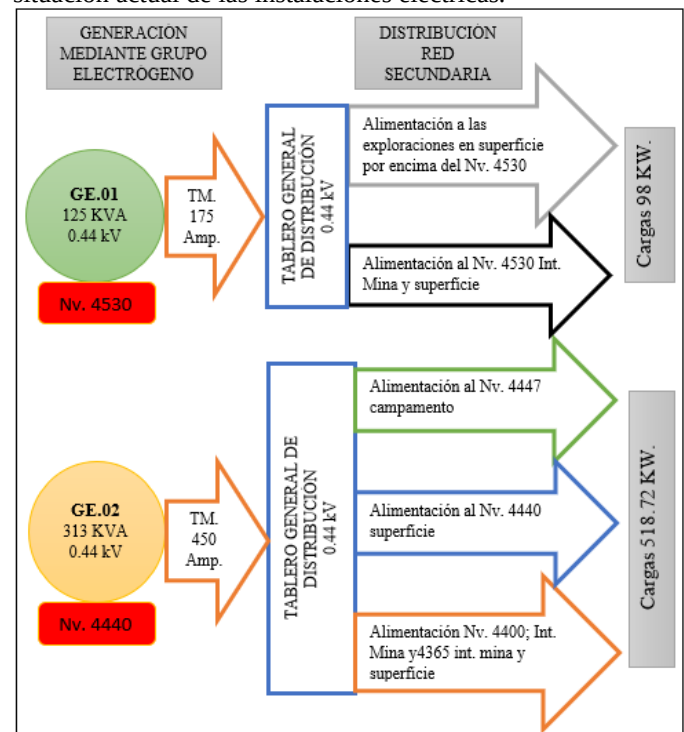


Fig. 4 Instalación eléctrica actual

D. Declaración de cargas instaladas en el asiento minero.

Se elabora un resumen general de la potencia de cargas instaladas por nivel geográfico, conforme se indica en la Tabla II. Las cargas de mayor pico de arranque están conformadas por motores de inducción, tales como bomba centrífugas, bomba sumergible, máquinas de perforación diamantina LM75, DIAMEC 262, ventiladores de 30.000, 40.000CFM, etc. Las cargas de bajo pico están los cargadores de baterías, estufas eléctricas en campamento y vestuario de los colaboradores, hornos de panificación, etc. El resumen se realiza con la finalidad de analizar el tipo y nivel de arranque de los motores eléctricos, si son de arranque directo o de tensión reducida (arranque tipo estrella-triángulo), lo que permitirá analizar preliminarmente el diseño de la instalación, con la siguiente ecuación nos permitirá transformar las potencias de HP de los motores en potencia kW.

$$KW = HP \times 0.746 \quad (1)$$

TABLA II
RESUMEN DE CARGA INSTALADA POR SECTOR

Nominación	Sector	Potencia en KW.
A	Nv. 4365 Int. Mina-superficie	102.14
B	Nv. 4400 Int. mina	89.52
C	Nv. 4400 Superficie	43.6
D	Nv. 4440; Int. mina	60.46
E	Nv. 4440 Superficie	73
F	Nv. 4447 Campamento	150
G	NV. 4530 Int. Mina-superficie	98

En resumen, la potencia de carga instalada es $(A+B+C+D+E+F+G) = 616.72$ kW. Este dato es fundamental como base de cálculo para la selección de grupo electrógeno cuyo factor de demanda deberán cubrir entre los 70 a 80% (criterio de simultaneidad de la instalación) por la necesidad operativa de la mina, y para diseño de las demás instalaciones. Para determinar la selección del grupo electrógeno tomaremos como criterio el arranque de los motores de mayores potencias, para nuestro caso de estudio han sido identificado los motores de 80 y 40 HP ambos con código NEMA G conforme se indica en la Tabla III.

E. Propuesta para desarrollar red de media tensión de 2.3kV

La propuesta de solución consiste en centralizar dos grupos electrógenos en un mismo lugar el cual será ubicado a lado de la bocamina del Nv.4440, un grupo electrógeno será nominado como principal (GEP), y el segundo como grupo electrógeno auxiliar (GEA), remplazará en caso de emergencia o mantenimiento preventivo del grupo principal.

Realizar un diseño de instalación, que parta desde el dimensionamiento del grupo electrógeno, transformación del nivel de tensión de baja a media tensión red primaria, dimensionamiento de los conductores para el transporte y distribución de energía; dimensionamiento de los transformadores de media a baja tensión red secundaria, calcular la capacidad del condensador cuando se solicite.

Al seleccionar el conductor debe cumplir con las normas y características técnicas de fabricación para el transporte de la corriente eléctrica en media tensión para minería subterránea, solo se considerarán las perdidas menores como son las perdidas por temperatura, resistividad termina del terreno, por agrupamiento, etc. Para algunos diseñadores son consideradas como perdidas tolerables de diseño.

Habilitación de dos áreas en superficie, una será considerada para el patio de llaves (control de red en MT) y otra para la casa fuerza donde será instalado los grupos electrógenos de preferencia a una distancia no mayor de 20 metros para facilitar la operatividad de ambos.

En la Fig. 5 se muestra esquemáticamente la propuesta de diseño para las instalaciones eléctricas en general.

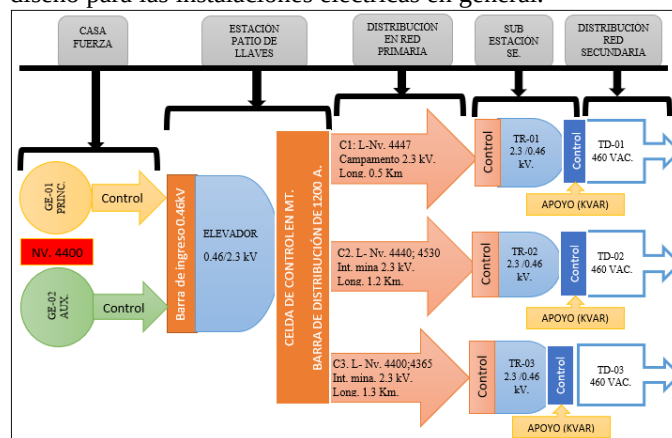


Fig. 5 Propuesta de instalación en red de 2.3kV.

IV. APOORTE

A. Fundamento

El presente proyecto parte del estado del arte, se han seleccionado los artículos científicos más relevantes, que contribuirán sus aportes de manera trascendental en cada fase para realizar del trabajo de investigación.

B. Vista metodológica

El tipo de investigación es tecnológica también conocido como desarrollo, encargada de crear nuevos procesos o en su defecto la mejora de éstos, crea nueva realidad por eso las variables cambian de acuerdo como van evolucionando el diseño o desarrollo, a diferencia de la científica modifica la realidad y no solo la estudia, la importancia radica en mejorar la productividad generando mayores beneficios para las empresas [26]. “La investigación tecnológica tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que benefician a la sociedad. Sus niveles son la experimentación y la aplicación” [27], Por consiguiente, una investigación de tipo tecnológico está íntimamente relacionado con la aplicación del conocimiento, razón por el cual el estudio también responde a un nivel de investigación aplicada, debido que se aplica conocimiento científico, tecnológico y aplicaciones técnicas, para un correcto desarrollo [27].

En la investigación se utiliza el método estructuralista, donde se podrá observar la realidad, se construirá modelos y se analizan la estructura. En el presente trabajo utilizaremos software de simulación y demás mecanismos. Por ende, usaremos teorías de ingeniería de diseño para mejorar las existentes. En consecuencia, esta investigación brinda un estudio de tipo tecnológico que permite crear un modelo para mejorar la red de distribución de energía mediante grupo electrógeno y apoyo con condensadores para satisfacer la demanda máxima en un asiento minero, además de acoplar en paralelo un segundo grupo para uso auxiliar cuando el grupo principal ingresa en un proceso de mantenimiento preventivo.

C. Vista de proceso

Para el modelamiento de mejora cuenta con desarrollo en fases las cuales son las siguientes: Análisis, planificación, solución mediante un diseño y los alcances del beneficio.

1) *Fase 1 Análisis:* El proceso inicia con la recopilación de información de la situación actual, estos son: Demanda máxima, factor de demanda, capacidad de grupo electrógenos, cargas concentradas, ubicación y distancia de las cargas, centros de cargas, campamento, proyección a futuro, costo para el equipamiento.

2) *Fase 2 Planificación:* Esta fase corresponde con la elaboración de un plan, intervienen profesionales de las diferentes jefaturas para aportar sugerencias y recomendaciones, sobre todo el crecimiento a futuro del asiento minero, esto a razón de consignar en el diseño las futuras necesidades, para acentuar un desarrollo sostenible e integral del proyecto.

3) *Fase 3 Solución:* En esta fase del proyecto se desarrollará la memoria de cálculos justificativos para sustentar el modelo de mejora del diseño de la red, las cuales se desarrollarán a continuación:

• Selección del grupo electrógeno

La relación entre KW. Por los KVA. Recibe el nombre de factor de potencia, los fabricantes diseñan una máquina para un factor de 0.8 el cual se define:

$$\cos\phi = \frac{P (KW)}{S (KVA)} \Leftrightarrow \frac{KW}{KVA} = 0.8 \quad (2)$$

La selección óptima del GE se debe considerar la suma de las cargas reales en KW y la capacidad de SKVA. Del generador para soportar el arranque de los motores eléctricos (SKVA: KVA Para arranque de motores).

Para seleccionar el GE tomaremos los datos de la Tabla III de "CATERPILLAR SIZING GUIDE" y usaremos la siguiente formula de conversión:

$$KW = \frac{HP * 0.746}{(\eta)} \quad (3)$$

TABLA III

LETRA CODIGÓ NEMA PARA ARRANQUE DE MOTORES

Secuencia de arranque	HP	Código NEMA	Tipo de arranque reducido	Caída de voltaje	Efic. (η)	kW
1	80	G	E-T (65%)	20%	.85	70.21
2	40	G	E-T (65%)	20%	.85	35.11

La letra de código establece la cantidad de corriente que el motor consume en el instante del arranque, muchos vienen especificados en la placa de características, el cual es un factor decisivo para determinar la capacidad del generador eléctrico. En la Tabla IV se da a conocer la letra clave para arranque directo.

TABLA IV

LETRA CLAVE PARA KVA A ROTOR BLOQUEADO POR KW.

Letra clave	kVA/kW	kVA/cp	Letra clave	kVA/kW	kVA/cp
F	6,70-7,49	5,00-5,60	J	9,51-10,71	7.10-8,00
G	7,50-8,44	5,60-6,30	K	10,72-12,05	8,00-9,00
H	8,45-9,50	6,30-7,10	L	12,06-13,39	9,00-10,00

Como bien sabemos los motores son de letra clave G en consecuencia, el arranque del motor de 80HP directo es 592 SKVA aplicando un factor de arranque a tensión reducida de 65% entonces la potencia de arranque efectivo es igual a 385 SKVA, el cual está dentro del margen de la potencia de carga instalada considerando su factor de demanda en 70% entonces: 616.72 igual a 431.7 kW <> 540 kVA, por lo tanto, para seleccionar el modelo de GE tomaremos los datos de la Tabla V. considerando una perdida por altitud de 35%, dato fabrica <> en 583 kW.

TABLA V

MODELO DEL GENERADOR ELÉCTRICO SEGÚN EL STARTING

MOTOR STARTING DATA – DIESEL GENERATOR SETS						
PRIME POWER 60 Hz – 1800 RPM						
Engine	Generator		Rating w/Fan	Starting kV*A at Voltage Dip**		
Model	Arrangement	Frame	KW	10%	20%	30%
3508 TA	7C1621	685	820	589	1316	2256
	7C1619	681	725	529	1190	2041
	7C1619	681	680	529	1190	2041
	7C1617	589	650	444	1000	1714

Selección del grupo electrógeno: De acuerdo a los datos suministrado por la tabla y a efecto de crecimiento futuro de cargas, le corresponde un grupo electrógeno: Modelo 3508TA; generador 7C1619; potencia Prime 680 kW.

• Selección del transformador de potencia

La muestra tomada en campo arroja una proyección de la demanda máxima por circuitos y las proyectada, el cual nos permite seleccionar la capacidad de los transformadores de tensión, de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$DM_{ct} = FS \times \sum DM_i \quad (4)$$

$$S_{total} = \left(\frac{MD(F_m)}{f_{dp}} + \frac{MD(A_y T)}{0.6} \right) \times 1.25 \quad (5)$$

• *Cálculos eléctricos*

Intensidad de corriente (In) del transformador

$$S(KVA) = \sqrt{3} \times V \times I_n \quad (6)$$

Intensidad de diseño

$$I_d = \frac{IN}{ft * fp} \quad (7)$$

Corriente de cortocircuito

$$I_{cc} = \frac{P_{cc}(MVA)}{\sqrt{3} \times U_n} \quad (8)$$

MVA = Megavoltamper: 100MVA. según CNE

Corriente térmicamente admisible

$$\text{Para conductor Cu: } I_k = \frac{0.11 \times S \text{ (mm}^2\text{)}}{\sqrt{T}} \quad (9)$$

Se debe cumplir: $I_k \geq I_{cc}$

Caída de tensión ΔV .

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I_d \times L(R \cos \phi + X \sin \phi) \quad (10)$$

Resistencia del conductor

$$RT = R1[1 + \alpha(T2 - T1)] \quad (11)$$

Perdida de potencia ΔP

$$\Delta P = 3 \times R \times L(Km) \times I^2 \quad (12)$$

• *Compensación de potencia reactiva mediante condensadores*

En instalaciones eléctrica donde exista la necesidad de usar motores eléctricos, estos tienden a consumir energía reactiva para su magnetización, razón por el cual se hacen uso de condensadores para suplir un porcentaje de ello, en la Fig.6 se muestra un ejemplo de compensación reactiva.

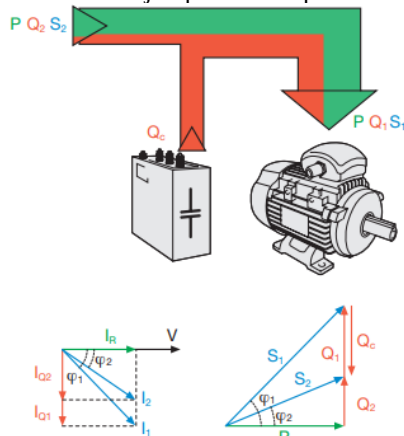


Fig. 6 Modelo geométrico de la compensación reactiva

La aplicación de la siguiente expresión es para resolver de manera directa.

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P(\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (13)$$

Es necesario indicar, el apoyo mediante condensadores será requeridos paulatinamente o según necesidades de la instalación, este dispositivo se ubicará en las cargas concentradas como son en las sub estaciones de distribución (SE) o en su defecto en las cargas que se encuentran en el punto más alejado de la sub estación de distribución.

4) *Fase 4 Beneficio:* Se podrá satisfacer la demanda máxima de energía, además se tendrá mejores resultados en el desarrollo de los avances de las exploraciones mineras, las máquinas y equipos para los preparativos y conservación de los alimentos trabajarán de manera continua, los artefactos y estufas eléctricas en las habitaciones no se desconectarán, el colaborador tendrá mejor calidad de vida.

D. Implementación del modelo

La implementación del modelo de mejora surge después de la memoria de cálculo y la correspondiente simulación en el software, se logra llegar a la mejor alternativa de solución.

En consecuencia, se procede a desarrollar el modelo, de manera esquematizada, estructurando los detalles en cada fase del proceso. El modelo a implementar será respetuoso en cumplir las normas que rigen el Código Nacional de Electricidad CNE suministro y utilización con el fin de preservar la salud del colaborador y los activos de la empresa.

En la Fig. 7 se propone el modelo de mejora para la implementación del nuevo proyecto de instalaciones eléctricas que dará solución al desabastecimiento de energía en el asiento minero.

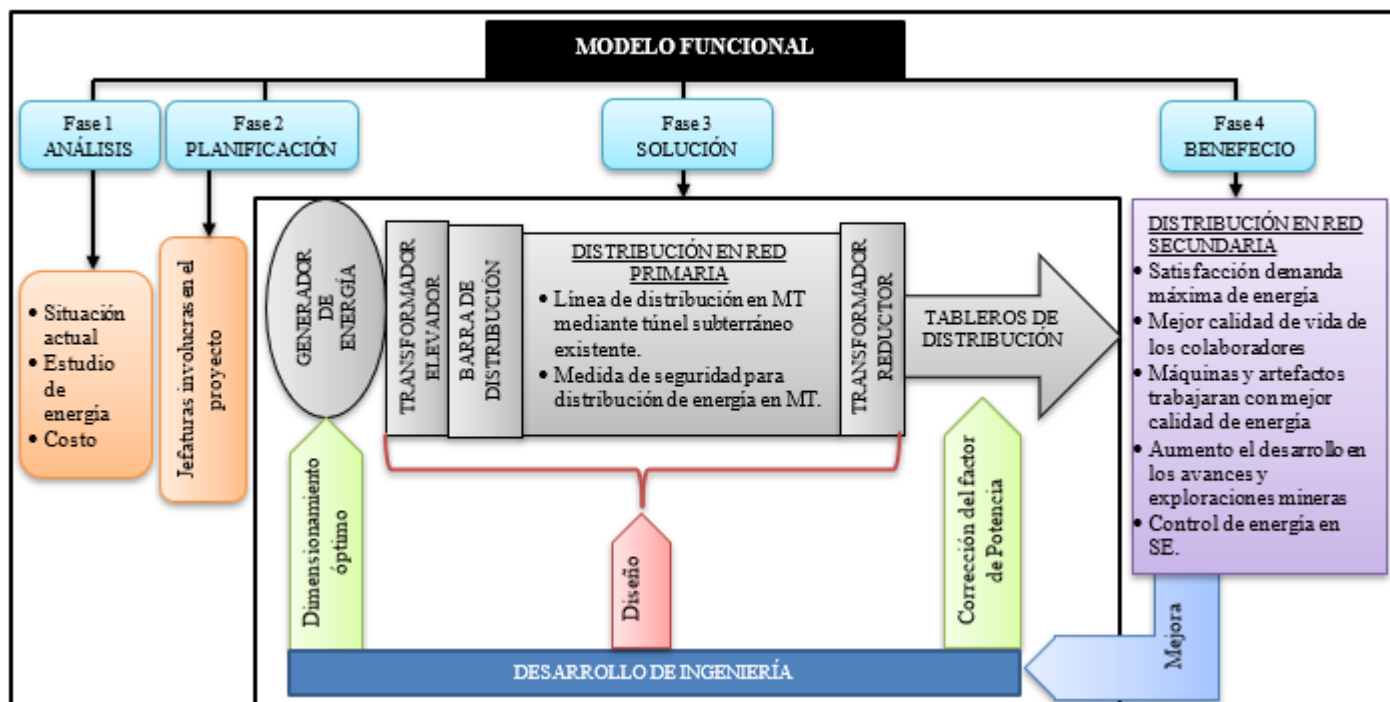


Fig. 7 Fase del modelo propuesto

IV. VALIDACIÓN Y RESULTADOS

La empresa al cual hemos nominado CMBSA. Es una empresa peruana productora de metales preciosos con experiencia en actividades de exploración, desarrollo, construcción y operación de minas; lista en la bolsa de valores de Nueva York.

Para la validación de la investigación, se hace uso de softwares de simulación como son: ANDELEC v.22 para proyectos de diseño; SIMARIS design. SIEMENS para cálculo de sub estaciones; DIREC-CAD 2022 para proyectos de instalación MT/BT los cuales son muy usados por empresas de diseños eléctricos, algunos softwares tienen costo por su utilización; también se usaron aplicativos en Android para cálculo de conductores eléctricos, caída de tensión, cálculos de corriente de motores de inducción etc. Así mismo existen programas desarrollados en Excel por especialistas en el sector eléctrico, tal como se muestra en la Fig. 8 herramienta que facilita los cálculos de instalaciones eléctricas en BT.



Fig.8 Programa desarrollado en Excel para cálculos eléctricos

En la Fig. 9 se muestra los resultados esperados en referencia a la selección de la nueva capacidad de potencia instalada y la potencia de la demanda total de carga instalada.

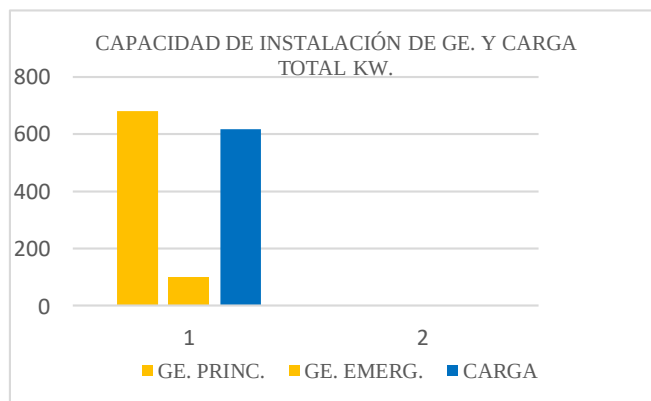


Fig.9 Capacidad de potencia instalada y carga instalada

La capacidad de suministro del GE. Principal supera la capacidad de la potencia de carga instalada, vence el criterio del factor de demanda de las cargas aun considerando pérdida por altitud en 35% Sin embargo, este grupo a sido seleccionado con proyección a futuro podrá garantizar el crecimiento de la demanda hasta la llegada de la red del interconectado nacional, en consecuencia, ha mejorado las instalaciones, en la Tabla VI se resume las tasas de mejoras después de la implementación del proyecto de instalaciones eléctricas.

TABLA VI
RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Indicadores	Antes	Después	Porcentaje de mejora
Capacidad de GE	227 kW efectivo (52.7%)	680 kW efectivo (102%)	100%
Racionalización de energía	4 horas/guardia total 8 horas	No hay corte de energía	100%
Sub estaciones	No existía	4 Sub estaciones	100%
Caída de tensión	398 voltios AC 9.04 %	440 voltios AC 5% CNE	90.5 %
Ventilación	4 horas	2 horas	50%
Retraso de extracción	3 horas de demora	1 hora por falta de celda	66.7%

En la Tabla VII se indica el metrado, estimación de costos y presupuestos para la implementación del proyecto. La empresa, CMBSA en una de sus sucursales tiene un grupo en estambay de: 3512TA; 1135 kW. (681 kW efectivo a 4500 msnm; derrateo en 40%), frecuencia 60Hz, según dato del fabricante, razón por el cual, al momento la empresa no comprará GE para la implementación del proyecto.

TABLA VII
ESTIMACIÓN DE SUMINISTROS Y COSTO DE EQUIPAMIENTO PARA LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Item	Descripción del producto	Cant.	P. Unit. US\$	P. Total US\$
1. Sub-Estaciones y sala de distribución				
1.1	Trasformador trifásico elevador sumergido en aceite, 630 KVA. 0.46/2.3kV. Dyn5, 4500msnm	01	16,000.00	16,000.00
1.2	Trasformador trifásico reductor sumergido en aceite, 250 KVA 2.3/0.46kV. Dyn5, 4500msnm	01	11,000.00	11,000.00
1.3	Trasformador trifásico reductor sumergido en aceite, 200 KVA 2.3/0.46kV. Dyn5, 4500msnm	02	10,000.00	20,000.00
1.4	Celda de media tensión 2.3kV. 1200A, incluye sistema de medición y protección	01	12,000.00	12,000.00
1.5	Seccionador CUT-OUT 200A. blindado de 200A	03	1000.00	3000.00
2. Líneas de energía				
2.1	Cable N2XSEY 3x50mm ²	2500m	35.00	87,500.00
2.2	Cable NPT 4x50mm ²	500m	48.00	24,000.00
3. Ferretería y suministros menores				
3.1	Aisladores, bandejas, soportes, tableros, etc.	—	—	15,000.00
Total, US\$				188,500.00

VI. CONCLUSIONES

En conclusión, se ha abordado de manera integral la problemática de desabastecimiento de energía eléctrica en el asiento minero CMBSA, destacando la importancia crucial de la electricidad en el desarrollo industrial y explorando distintos aspectos relacionados con la generación, transformación, transporte y seguridad de la energía eléctrica, conforme rige el código nacional de electricidad en su apartado suministro y utilización.

A través de un análisis detallado de la situación actual, se identificaron las limitaciones en la capacidad de los grupos electrógenos existentes y la falta de una infraestructura eléctrica eficiente. La propuesta de solución se centra en la centralización de dos grupos electrógenos, la implementación de una red de distribución en media tensión de 2.3kV, y la integración de condensadores para la compensación de potencia reactiva.

La selección cuidadosa de los equipos, como el grupo electrógeno modelo 3508TA, y la planificación de la red eléctrica, teniendo en cuenta la proyección de cargas futuras, son aspectos cruciales del diseño propuesto. Además, la implementación de condensadores estratégicamente ubicados mejora la eficiencia del sistema y reduce las pérdidas de energía.

El modelo de mejora no solo busca suplir la demanda actual de manera constante, sino que también establece las bases para un crecimiento sostenible del asiento minero. La simulación y cálculos detallados respaldan la viabilidad técnica y económica de la propuesta, ofreciendo una solución integral para mejorar la calidad de vida de los colaboradores y potenciar el desarrollo de las operaciones mineras.

En definitiva, este trabajo no solo ha abordado las complejidades técnicas de las instalaciones eléctricas en un entorno minero, sino que también ha proporcionado una propuesta sólida y detallada para mejorar la capacidad del suministro eléctrico ante la creciente demanda, asegurando un desarrollo sostenible y eficiente en el asiento minero.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Energía y Minas, “Perú: País minero,” Dir. Gen. minería, no. Perú: Un país minero lleno de oportunidades, 2022, [Online]. Available: https://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCateg=159#:~:text=Destacados de la Industria Minera,de depósitos minerales del mundo..
- [2] AngloAmerican, “El papel de la minería en la reactivación económica,” AngloAmerican, 2024, [Online]. Available: <https://peru.angloamerican.com/moquegua/impulso-minero/el-papel-de-la-mineria-en-la-reactivacion-economica.aspx#:~:text=La minería será clave para,empleos adicionales en otras actividades..>
- [3] Cetemin, “La importancia de la minería en los sectores industriales,” cetemin, 2023, [Online]. Available: <https://blog.cetemin.edu.pe/importancia-mineria/>.
- [4] E. Nolasco-Benitez and O. Gomis-Bellmunt, “Acceso a la electricidad y desarrollo rural,” CienciAmérica, vol. 10, no. 3, pp. 57–72, 2021, doi: 10.33210/ca.v10i3.371.
- [5] V. Valdés, Á. Trejos, L. A. Vásquez, V. Valenzuela, and E. Trotman, “Evaluación de la seguridad en las instalaciones eléctricas de las viviendas del distrito de Changuinola,” Rev. Iniciación Científica, vol. 5, pp. 54–60, 2019, doi: 10.33412/rev-ric.v5.0.2370.
- [6] F. Humberto Fernández-Morales and J. Enrique Duarte, “Automatismo para el monitoreo y control de un grupo electrógeno con arranque eléctrico* Automation for the monitoring and control of a generator with electric start,” vol. 11, no. 2, pp. 262–271, 2015.
- [7] E. Martínez-Delgado, J. Cabrera-Gómez, B. A. Arce-Castro, E. Martínez-Delgado, J. Cabrera-Gómez, and B. A. Arce-Castro, “Diagnóstico del servicio de mantenimiento de grupos electrógenos de emergencia,” Ing. Mecánica, vol. 22, no. 2, 2019.
- [8] C. M. Gallegos Londoño, M. A. Viscaíno Cuzco, and S. R. Sergio Raúl, “Estudio de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad aplicado a grupos

- electrógenos prime,” *ConcienciaDigital*, vol. 3, no. 3, pp. 44–61, Jul. 2020, doi: 10.33262/concienciadigital.v3i3.1266.
- [9] Zegarra Manuel, “Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados,” *Cienc. Desarro.*, vol. 19, no. 1, pp. 30–32, 2016, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.21503/CienciayDesarrollo.2016.v19i1.02http://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/CYD/index>
- [10] J. David, Z. Henao, A. Céspedes Fernández, D. Fernando, and G. Gómez, “Técnicas para el diagnóstico de transformadores de potencia: Una revisión crítica Techniques for power transformers diagnosis: A critical review,” *Rev. Chil. Ing.*, vol. 28, no. 2, pp. 184–203, 2020.
- [11] E. Polit, “Estimación de los Parámetros de Secuencia de un Transformador Trifásico utilizando Métodos de Optimización no Lineal Sequence Impedance Parameter Estimation of a Three-Phase Transformer using Nonlinear Optimization Methods,” vol. 44, no. 2, pp. 25–34, 2020.
- [12] F. Valencia, H. Arcos, and F. Quilumba, “Comparison of Machine Learning Algorithms for the Prediction of Mechanical Stress in Three-Phase Power Transformer Winding Conductors,” *J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/4657696.
- [13] F. Marcos and S. Gabriel, “Estudio técnico económico para la remodelación e implementación del sistema de distribución en media y baja tensión para redes de servicio particular de las instalaciones eléctricas del caserío de Llacubamba, distrito de Parcoy – Pataz – La Libertad,” vol. 2196.
- [14] D. Jaramillo, A. Fonseca, and F. Pérez, “Metodología para Determinar la Distribución de Corrientes de Desbalance en Líneas Aéreas de Transmisión de Energía Eléctrica,” *Rev. Politécnica*, vol. 44, no. 2, pp. 15–24, 2020, doi: 10.33333/rp.vol44n2.02.
- [15] Ministerio de energía y Minas, “Código Nacional de Electricidad Suministro 2011,” no. Ministerio de energía y Minas, p. 323, 2011.
- [16] Ministerio de Energía y Minas, “Código Nacional De Electricidad – Utilización,” *Dir. Gen. Electr. - Dir. Normas Electr.*, vol. 836, 2006.
- [17] Ministerio de Energía y Minas, “Norma Dge ‘Bases Para El Diseño De Líneas Y Redes Primarias Para Electrificación Rural,’” p. 35, 2015.
- [18] M. Galarza, D. Noboa, and J. Gallo, “Proyecto de Instalaciones Subterráneas de Media Tensión,” *IEEE Electr. Insul. Mag.*, p. 10, 2015, [Online]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2549/1/5025.pdf>
- [19] M. D. Choque and K. E. Salazar, “Emprendimiento sobre electrificación en baja tensión en la innovación del laboratorio de instalaciones eléctricas en la UNTELS,” vol. 3, no. 2, pp. 92–107, 2023, [Online]. Available: [file:///C:/Users/HP/Downloads/94-Texto del artículo-466-2-10-20231003\(1\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/94-Texto del artículo-466-2-10-20231003(1).pdf)
- [20] INDECO S.A., “Cables para Minería.” INDECO/Empresa Nexans, Lima, pp. 1–89, 2019. [Online]. Available: [file:///C:/Users/HP/Downloads/CATALOGO MINERO 2019 parte 1\(1\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/CATALOGO MINERO 2019 parte 1(1).pdf)
- [21] M. Campaña, P. Masache, E. Inga, and D. Carrión, “Estabilidad de tensión y compensación electrónica en sistemas eléctricos de potencia usando herramientas de simulación,” *Ingenius*, no. 29, pp. 9–23, 2023, doi: 10.17163/ings.n29.2023.01.
- [22] D. E. Borges Vasconcellos and Y. Concepción Céspedes, “Compensación de potencia reactiva en sistemas de distribución primaria de energía aplicando algoritmos genéticos,” *Ing. Energética*, vol. 38, no. 1, pp. 25–34, 2017, [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5837353>
- [23] ABB, Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos de las instalaciones eléctricas. 2022. [Online]. Available: https://library.e.abb.com/public/897462d590876b5fc125791a003bd1e0/1TXA007107G0701_CT8.pdf
- [24] H. E. Amador Soto, R. A. Hincapié Isaza, and R. A. Gallego Rendón, “Ubicación óptima de condensadores en sistemas de distribución considerando incertidumbre en la demanda,” *Sci. Tech.*, vol. 20, no. 4, p. 308, 2015, doi: 10.22517/23447214.9187.
- [25] O. D. Montoya Giraldo, C. A. Ramírez Vanegas, and L. F. Grisales Noreña, “Localización y Dimensionamiento Óptimo de Generadores Distribuidos y Bancos de Condensadores en Sistemas de Distribución,” *Sci. Tech.*, vol. 23, no. 3, pp. 308–314, 2018, doi: 10.22517/23447214.16691.
- [26] C. D. L. C. Casaño, “Metodología de la investigación tecnológica en ingeniería,” *Ingenium*, vol. 1, no. 1, pp. 43–46, 2016, [Online]. Available: <http://journals.continental.edu.pe/index.php/ingenium/article/view/392>
- [27] C. A. Espinoza, Metodología de investigación tecnológica. 2014. [Online]. Available: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1146/mit1.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1148>