



Doi: <https://doi.org/10.70577/ASCE/1044.1072/2025>

Recibido: 2025-05-27

Aceptado: 2025-06-27

Publicado: 2025-07-28

"Análisis y evaluación del sistema de distribución eléctrica en medio y bajo voltaje del bloque de capacitación continua de la Escuela de Infantería del Ejército"

"Analysis and evaluation of the medium- and low-voltage electrical distribution system in the continuous training block of the Army Infantry School"

Autores:

Tlgo. Stalin Aldair Hurtado Ayala
<https://orcid.org/0009-0002-1199-0065>
hurtadoaldair12@gmail.com
sahurtadoa@istx.edu.ec

Instituto Superior Universitario
Cotopaxi – Ecuador

Ing. Vicente Javier Quispe Toapanta
<https://orcid.org/0009-0002-6414-7186>
vjquispet@istx.edu.ec

Instituto Superior Universitario
Cotopaxi – Ecuador

Ing. Johana Gabriela Chiliquinga Taipe
<https://orcid.org/0009-0000-1524-6829>
jgchiliquingat@istx.edu.ec

Instituto Superior Universitario
Cotopaxi – Ecuador

Cómo citar

Hurtado Ayala, S. A., Quispe Toapanta, V. J., & Chiliquinga Taipe, J. G. (2025). "Análisis y evaluación del sistema de distribución eléctrica en medio y bajo voltaje del bloque de capacitación continua de la Escuela de Infantería del Ejército". *ASCE*, 4(3), 1044–1072.

Resumen

El propósito de esta investigación fue examinar el sistema eléctrico en medio y bajo voltaje que suministra energía al área de formación continua de la Escuela de Infantería del Ejército. Para ello, se recurrió al software ETAP como herramienta para evaluar el estado actual del sistema y anticipar su funcionamiento frente a futuras exigencias. El estudio se realizó bajo un enfoque cuantitativo, descriptivo y aplicado, utilizando un diseño no experimental de carácter longitudinal. Se implementaron distintas metodologías, como la revisión documental, la creación de planos eléctricos, mediciones en el lugar con analizadores de red y simulaciones en AutoCAD y ETAP. En donde los hallazgos indicaron que el sistema opera de manera estable en las condiciones actuales, manteniendo niveles de voltaje dentro de los límites establecidos por la normativa del Ecuador. No obstante, se identificaron algunas carencias en la distribución de cargas, la protección de los equipos y la capacidad de respuesta ante posibles sobrecargas. Las simulaciones revelaron que, al incorporar un transformador de mayor capacidad, el sistema mejora notablemente en cuanto a confiabilidad y puede soportar incrementos de carga de hasta un 80% sin perjudicar su funcionamiento y se concluye que es esencial establecer una planificación eléctrica a corto y mediano plazo, enfocada en la redistribución de cargas, la actualización de sistemas de protección y el monitoreo constante. Asimismo, se recomienda la instalación de un analizador de redes fijo para registrar parámetros eléctricos de forma continua, lo que facilitaría una mejor toma de decisiones técnicas.

Palabras clave: Sistema Eléctrico, Voltaje, ETAP, Planificación Operativa, Transformador, Simulación, Mantenimiento Preventivo.



Abstract

The purpose of this research was to examine the medium- and low-voltage electrical system that supplies power to the continuing education area of the Army Infantry School. To this end, ETAP software was used as a tool to assess the current status of the system and anticipate its performance under future demands. The study was conducted using a quantitative, descriptive, and applied approach, using a longitudinal, non-experimental design. Various methodologies were implemented, including document review, creation of electrical drawings, on-site measurements with network analyzers, and simulations in AutoCAD and ETAP. The findings indicated that the system operates stably under current conditions, maintaining voltage levels within the limits established by Ecuadorian regulations. However, some deficiencies were identified in load distribution, equipment protection, and the capacity to respond to potential overloads. Simulations revealed that incorporating a higher-capacity transformer significantly improves the system's reliability and can withstand load increases of up to 80% without compromising its operation. It is concluded that it is essential to establish short- and medium-term electrical planning, focused on load redistribution, protection system upgrades, and ongoing monitoring. Furthermore, the installation of a fixed power analyzer is recommended to continuously record electrical parameters, which would facilitate better technical decision-making.

Keywords: Electrical System, Voltage, DWTP, Operational Planning, Transformer, Simulation, Preventive Maintenance.

Introducción

Contar con un suministro eléctrico que sea fiable y eficiente es fundamental para el adecuado funcionamiento de cualquier infraestructura educativa y operativa, particularmente en instituciones importantes como la Escuela de Infantería del Ejército. El área de capacitación continua de esta entidad se basa en un sistema eléctrico en medio y bajo voltaje que, debido al incremento constante en la demanda de energía y la falta de actualizaciones técnicas, está expuesto a riesgos tales como sobrecargas, descensos de tensión y fallos operativos. En donde la circunstancia no solo amenaza la continuidad del servicio, sino que también impactan negativamente en el desarrollo de las actividades formativas del personal tanto militar como civil (GTSE Ecuador, 2013).

En este marco, el propósito de esta investigación es examinar el sistema eléctrico que proporciona energía a dicho bloque, mediante un diagnóstico técnico exhaustivo que se apoya en mediciones reales, elaboración de esquemas y observación directa. Posteriormente, se realizará la modelización y simulación del sistema usando el software ETAP, con el objeto de evaluar su rendimiento actual y prever cómo se comportará ante futuros incrementos en la carga. la metodología permitirá identificar áreas críticas, establecer la capacidad operativa de la red y sugerir mejoras tanto estructurales como funcionales a corto y medio plazo (Montero & Suquinahua, 2024).

En la justificación teórica se fundamenta en aspectos técnicos, normativos y científicos que justifican su relevancia y necesidad. Desde una perspectiva teórica, las redes eléctricas de media y baja tensión son componentes esenciales de la infraestructura energética, pues permiten una distribución tanto eficiente como segura de la energía hacia los puntos de uso (Cano y otros, 2020). Un diseño incorrecto o una infraestructura obsoleta pueden generar pérdidas considerables, caídas de tensión, interrupciones en el suministro e incluso riesgos relacionados con la seguridad eléctrica.

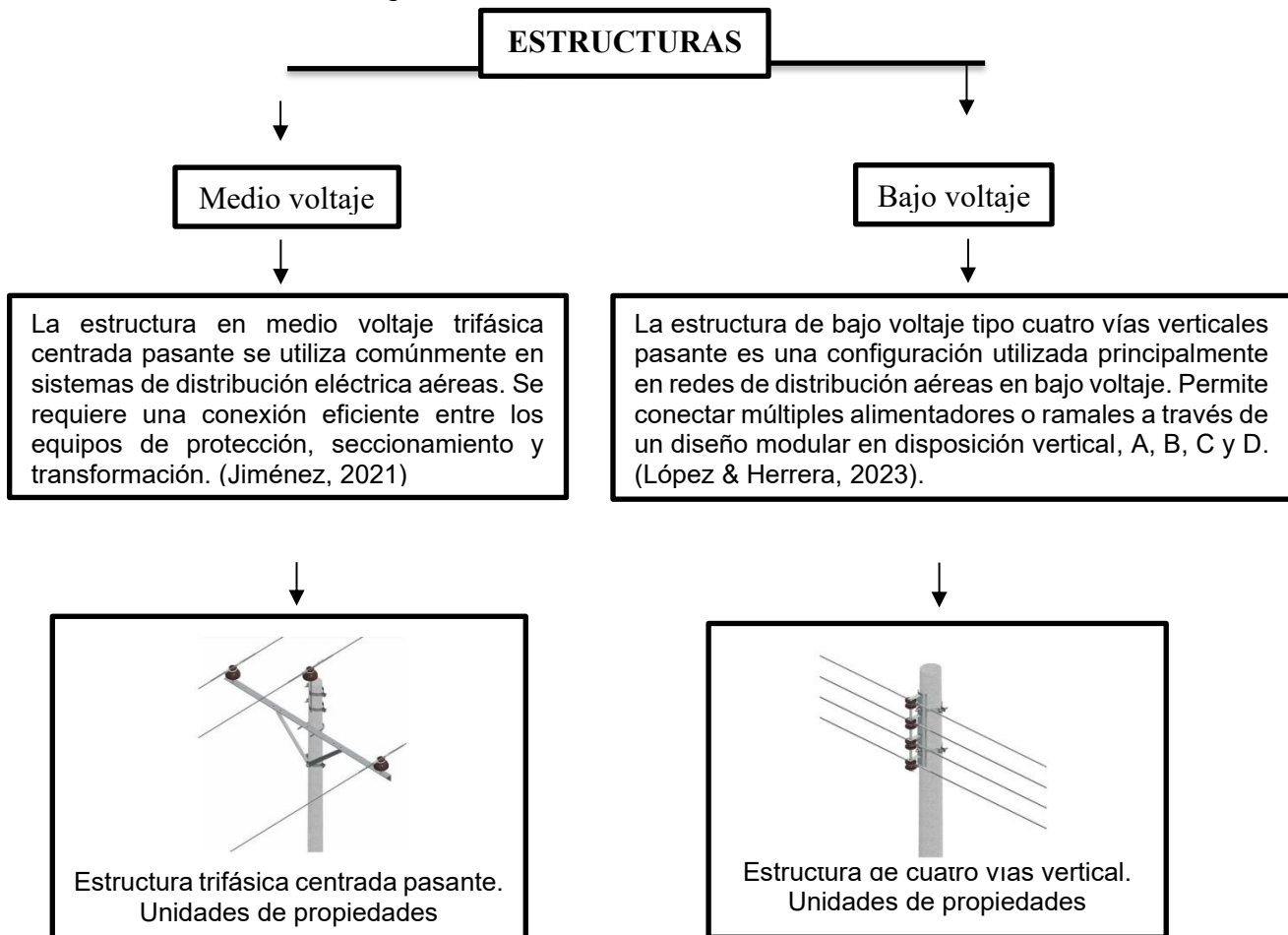
Desde una óptica científica, la incorporación de herramientas informáticas como ETAP proporciona una solución sofisticada para modelar, analizar y simular redes eléctricas. tipo de software permite replicar con exactitud el funcionamiento del sistema bajo diferentes condiciones de operación y escenarios de carga, lo que facilita la toma de decisiones

fundamentadas en datos cuantificables (Hernández y otros, 2019). Asimismo, el empleo de analizadores de red proporciona información real sobre el estado operativo del sistema, mejorando la fiabilidad del diagnóstico y posibilitando la identificación precisa de anomalías en parámetros críticos como el voltaje, los armónicos, el factor de potencia y la frecuencia (García & Medina, 2022).

En cuanto a la planificación operativa, esta se considera una necesidad estratégica para anticipar el aumento en la demanda de energía, maximizar el uso de recursos y evitar fallas en el futuro. En un entorno donde frecuentemente se carece de documentación actualizada y registros técnicos fiables (Morales & Peña, 2019), en donde este tipo de estudios resulta esencial, ya que contribuyen a cerrar vacíos en la gestión energética, refuerzan la sostenibilidad técnica de la infraestructura y posibilitan el diseño de mejoras acorde a las necesidades.

Figura 1

Análisis de la estructura esquemática



En la justificación metodológica utilizado es cuantitativo, descriptivo y aplicado, empleando un diseño no experimental de carácter longitudinal. Desde un punto de vista teórico, la investigación se basa en conceptos fundamentales como los sistemas eléctricos de media y baja tensión (Cano y otros, 2020), el uso de analizadores de red para examinar la calidad y el comportamiento energético (García & Medina, 2022), la utilización de herramientas informáticas para el diseño y simulación eléctrica, y la planificación operativa como estrategia para asegurar la sostenibilidad técnica del sistema (Hernández y otros, 2019).

Los objetivos que se han planteado no solo buscan diagnosticar y simular el sistema eléctrico actual, sino también crear estrategias de mejora basadas en datos reales y modelos. De esta manera, se espera asegurar un suministro continuo y seguro que se ajuste a las futuras necesidades de carga de la Escuela de Infantería. Los principales beneficiarios de esta investigación son los estudiantes y el personal de instrucción, quienes podrán llevar a cabo sus actividades en un entorno energéticamente estable, eficiente y bien planificado tecnológicamente.

Metodología

La investigación actual utiliza un método cuantitativo de carácter técnico-aplicado, basado en la recopilación y análisis de datos reales del sistema eléctrico de media y baja tensión que provee energía al área de capacitación continua de la Escuela de Infantería del Ejército. Esta elección metodológica facilita el estudio objetivo de variables eléctricas esenciales como voltaje, corriente, potencia activa y reactiva, factor de potencia y consumo energético, lo que proporciona una visión clara del funcionamiento del sistema (Saavedra & Sánchez, 2022).

La metodología utilizada cuenta con herramientas informáticas específicas como ETAP, que permite simular el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones de carga, y AutoCAD, que se emplea para graficar la red eléctrica a través de planos unifilares. La combinación de estos instrumentos no solo ayudó a interpretar los datos recolectados en el sitio con mayor

exactitud, sino que también permitió anticipar posibles escenarios de aumento en la demanda y planear soluciones técnicas adecuadas (Quintanilla & Barrón, 2013).

Referente al tipo de estudio, se clasifica como una investigación descriptiva y aplicada., en donde el análisis descriptivo porque posibilita detallar la infraestructura eléctrica actual, analizando sus componentes, condiciones de operación y potenciales fallas; y es aplicada porque tiene como objetivo presentar soluciones concretas para mejorar el desempeño del sistema, optimizar su capacidad operativa y asegurar un suministro constante y seguro frente a futuras demandas (Vizcaíno y otros, 2023).

La recolección de información, se emplearon diversas técnicas complementarias. En primer lugar, se realizó un análisis de documentos que abarcaban planos eléctricos, manuales técnicos y registros internos de consumo eléctrico (Zamora & Herrera, 2023). Luego, se llevaron a cabo mediciones directas utilizando instrumentos como multímetros, pinzas amperimétricas y analizadores de redes, todo con el fin de obtener datos precisos sobre el funcionamiento real del sistema (Torres & Mejía, 2021). Finalmente, se efectuó una inspección visual minuciosa de las instalaciones, recopilando información estructural y verificando el estado físico de los componentes eléctricos

La unidad de análisis corresponde al sistema eléctrico en medio y bajo voltaje del bloque de capacitación, y la muestra es no probabilística y deliberada, seleccionada por su importancia operativa y la necesidad de intervención. En este caso, no se trata de muestras de personas, sino de elementos físicos del sistema, tales como transformadores, tableros, conductores y cargas (Hernández & Carpio, 2019).

Aunque la investigación no plantea una hipótesis en el sentido estadístico, se basa en la suposición técnica de que el sistema eléctrico presenta carencias que podrían impactar su funcionamiento en el futuro. Por esta razón, es fundamental utilizar herramientas informáticas que permitan una planificación efectiva frente a los incrementos de carga anticipados.

Resultados

En esta parte, se presenta los hallazgos del estudio práctico realizado sobre la red eléctrica en medio y bajo voltaje en el bloque de capacitación continua de la Escuela de Infantería del Ejército. El proyecto inició con la recopilación de datos en el lugar, lo que permite comprender la estructura real de la red eléctrica y elaborar un esquema unifilar en AutoCAD como base técnica para el análisis. Los hallazgos logrados muestran las condiciones operativas reales del sistema, sino que también se permite prever su rendimiento futuro, facilitando así la formulación de mejoras específicas para optimizar el suministro eléctrico y asegurar su estabilidad ante el aumento proyectado de la demanda.

- **Geo portal**

El levantamiento de información de todas las estructuras en medio y bajo voltaje, se ayudó de recursos disponibles como: el Geo portal de la Empresa Eléctrica Quito “Web Gis”. Se inicio desde el transformador de 125 KVA que encuentra ubicado en las siguientes coordenadas (UTM-17) 770400; 99466405.

Figura 2

Datos técnicos del transformador extraídas del Geoportal de la EEQ

Transformador Trifásico en Poste	
Alimentador	El Obraje 73D
Codigo Puesto	OID2571
Fase Conexión	ABC
Voltaje	22.8 kV
Potencia (kva)	125,00
Propiedad	PARTICULAR

Elaboración: Stalin Hurtado

- **Datos de coordenadas**

Para realizar el plano eléctrico unifilar se ayudó también del Geo portal de la Empresa Eléctrica Quito “Web Gis”. Determinamos cada una de las coordenadas e los postes para suscribir en una tabla seguidamente cargar las coordenadas al software AutoCAD.

Figura 3

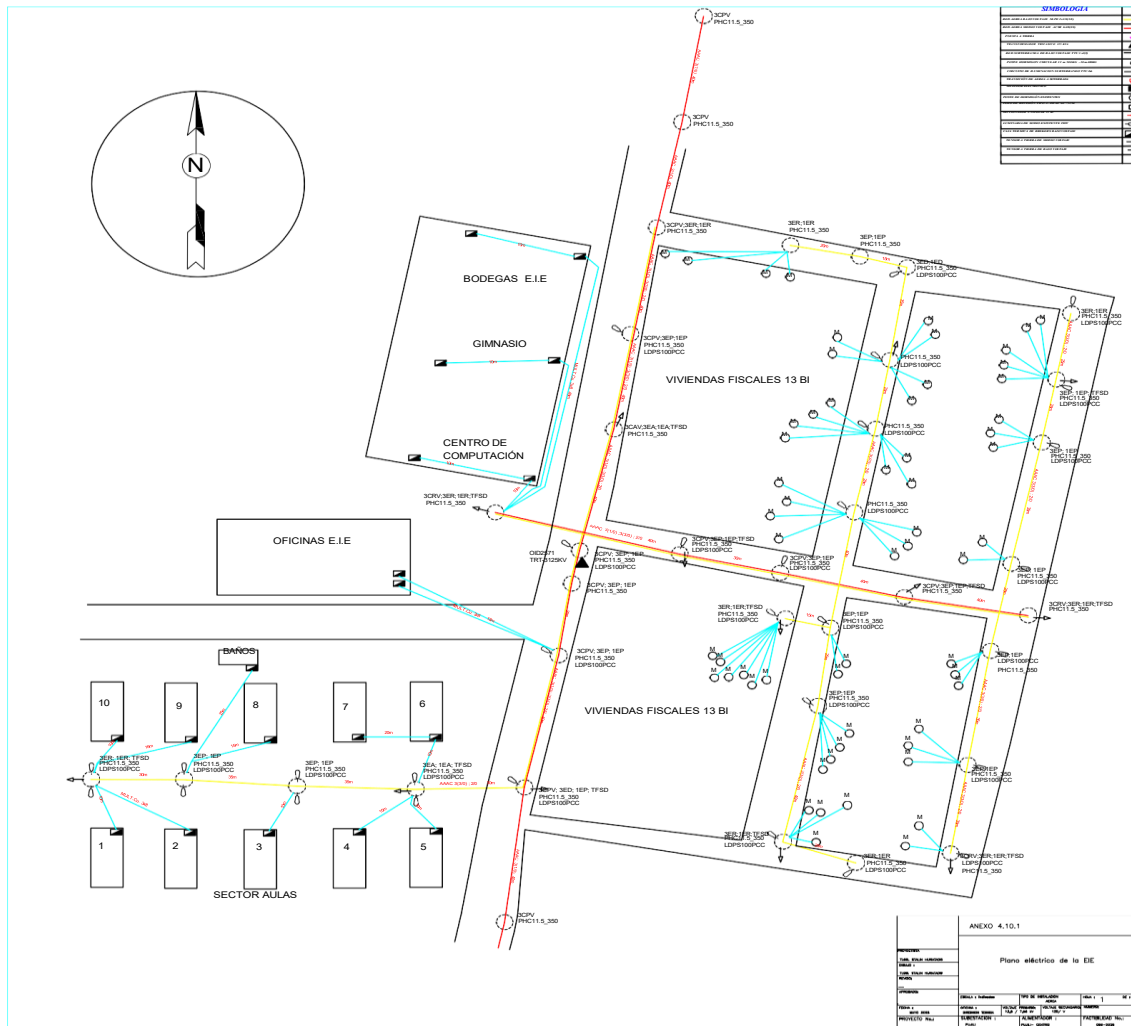
Tabla de Coordenadas extraídas del Web Gis

COORDENADAS DE PH			
X	Y	X	Y
770402.734	9946417.92	770543.051	9946394.53
770400.23	9946405.96	770468.655	9946527.31
770396.144	9946380.19	770490.318	9946523.26
770385.436	9946332.94	770505.118	9946519.38
770351.366	9946332.32	770499.743	9946486.06
770314.2	9946333.4	770495.32	9946461.52
770278.895	9946335.71	770488.646	9946431.43
770249.79	9946335.75	770481.176	9946390.22
770379.256	9946284.67	770477.276	9946362.11
770376.35	9946431.53	770466.301	9946313.38
770418.57	9946495.48	770518.804	9946309.33
770426.838	9946533.62	770524.096	9946340.91
770434.796	9946571.44	770531.207	9946381.84
770441.514	9946609.38	770537.733	9946412.98
770434.052	9946416.55	770547.247	9946456.6
770465.482	9946409.88	770551.816	9946479.11
770504.2	9946401.07	770556.455	9946502.91

Elaboración: Stalin Hurtado

- **Diagrama unificar de la red de distribución**

El plano eléctrico se realizó en el software AutoCAD en virtud que me sirva como base de datos con el levantamiento de información, en el plano eléctrico unifilar está interpretado y diseñado con la simbología eléctrica, las medidas de poste a poste “Vano”, la nomenclatura o código de interpretación resumida de cada una de las estructuras, la configuración de conexión de cada una de las acometidas.

Figura 4
Plano eléctrico de todo el sistema realizado en AutoCAD

Elaboración: Stalin Hurtado

• Configuración del analizador de red

La configuración del analizador de red fue esencial para medir y supervisar adecuadamente los parámetros eléctricos en sistemas de potencia, este equipo de medición permite la captura de datos reales. Una correcta configuración asegura información precisa para el análisis y la toma de decisiones en sistemas eléctricos aguas abajo.

Figura 5

Configuración de conexión del analizador de red.



Elaboración: Stalin Hurtado

- Análisis de Parámetros Eléctricos**

En esta etapa del estudio se procedió a evaluar el comportamiento eléctrico de la instalación, tomando como referencia las mediciones registradas durante el periodo de monitoreo. Para esto el objetivo fue conocer el nivel real de consumo y determinar cuánto margen de carga queda disponible en el transformador actualmente en uso. A partir de los datos recopilados, se identificaron los valores promedio de potencia activa y también los picos más altos registrados durante la operación normal. Este análisis permitió establecer con claridad la demanda que genera el sistema y su relación con la capacidad instalada.

Se calculó el consumo promedio de energía en el periodo medido. Esta información resulta clave para proyectar la evolución del consumo en el corto plazo y, al mismo tiempo, sirve como punto de partida para cualquier acción de mejora o expansión futura dentro del sistema eléctrico evaluado.

- Datos de Potencia Activa (kW) y Potencia Aparente (KVA)**

En la tabla siguiente se presentan los valores promedio, máximo y mínimo de las potencias activa y aparente que está suministrando el transformador trifásico de 125 KVA, a continuación, se presentara la fórmula que se utilizó para determinar los promedios de potencia activa y potencia aparente.

Formula

$$P = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + \dots + X_N}{N}$$

Donde:

- P = Promedio
- X = Valores de la base de datos
- N = Número total de datos

Tabla 1

Resultados obtenidos de potencia activa y aparente.

Parámetro	Promedio	Máximo	Mínimo
Potencia Activa Total (kW)	26.73	42.83	10.41
Potencia Aparente Total (KVA)	28.47	47.24	11.71

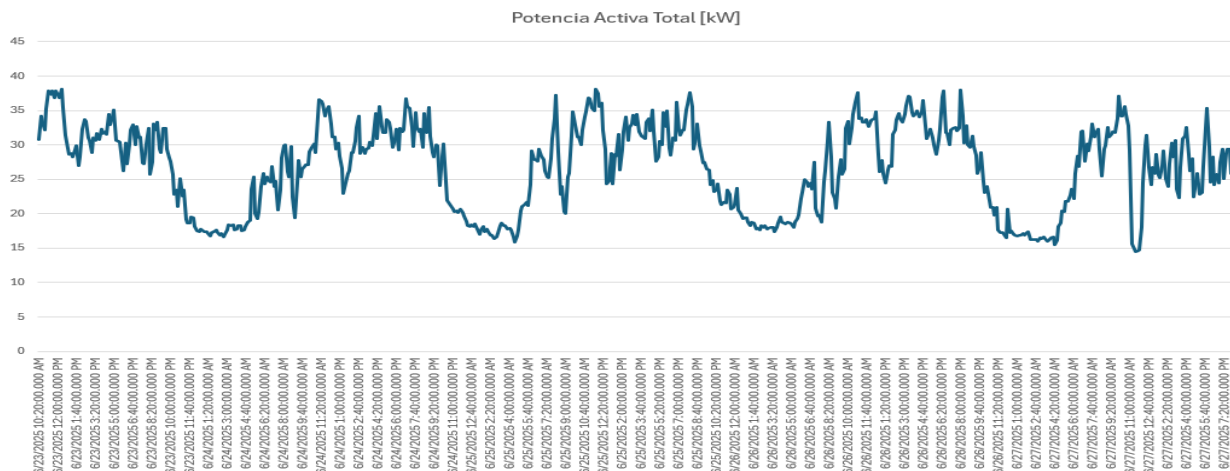
Elaboración: Stalin Hurtado

Potencia activa

Se muestra cuánta potencia real consume la instalación, como datos según la gráfica se puede observar que tiene una potencia activa promedio de 26.73 KW, potencia activa máxima de 47.24 KW y un mínimo de 11.71 KW.

Figura 6

Gráfica de potencia activa en el intervalo medido



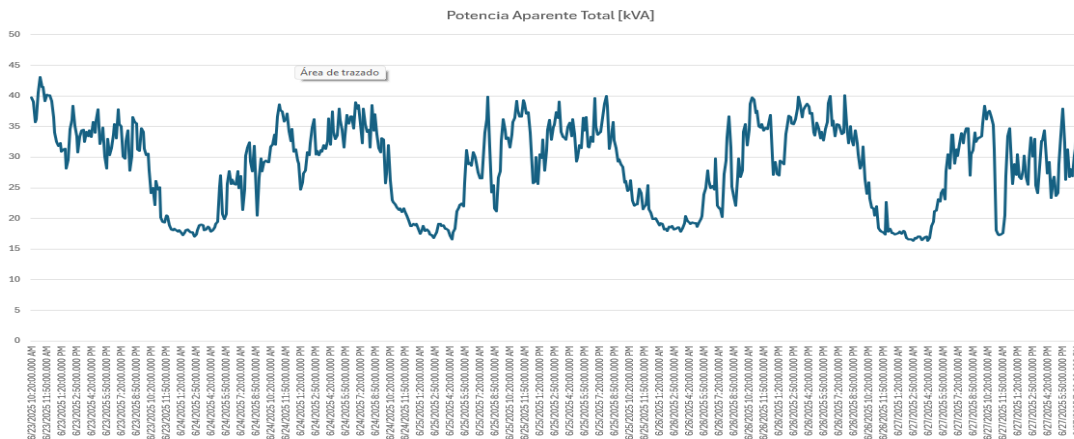
Fuente: Elaboración propia

• Potencia aparente

En la figura 8: Se observa la gráfica de la potencia aparente dando como resultado una potencia aparente promedio de 28.47 KW, una potencia máxima de 47.24 KW y potencia mínima de 11.71

Figura 7

Gráfica de potencia aparente en el intervalo medido



Fuente: Elaboración propia

Análisis de capacidad de transformador

La potencia consumida por la carga tiene un promedio de 26.73 kW y 28.47 KVA. El pico máximo registrado es de 42.83 kW y 47.24 KVA. Se puede observar que es menor a la capacidad del transformador que es 125 KVA. El porcentaje que está consumiendo la carga actual según el pico máximo sería de potencia sería:

Formula:

$$\text{Porcentaje de capacidad} = \left(\frac{\text{Demanda máxima (kVA)}}{\text{Capacidad nominal del transformador (kVA)}} \right) \times 100$$

Datos:

- Carga actual: 47.24 KVA
- Capacidad nominal del transformador: 125 KVA
- Porcentaje de capacidad $(47.24/125) \times 100$
- Porcentaje de capacidad = $0.37792 \times 100 = 37.79\%$

• Factor de Potencia

En la siguiente tabla se muestra los valores medidos del factor de potencia en el periodo considerado, con lo establecido en la resolución ARCONEL No. 008-2024 dice:

El factor de potencia deberá tener un valor mínimo de 0.92, entonces si cumple porque se tiene como resultado un factor de potencia total 0.94.

Tabla 2

Resultados obtenidos de factor de potencia.

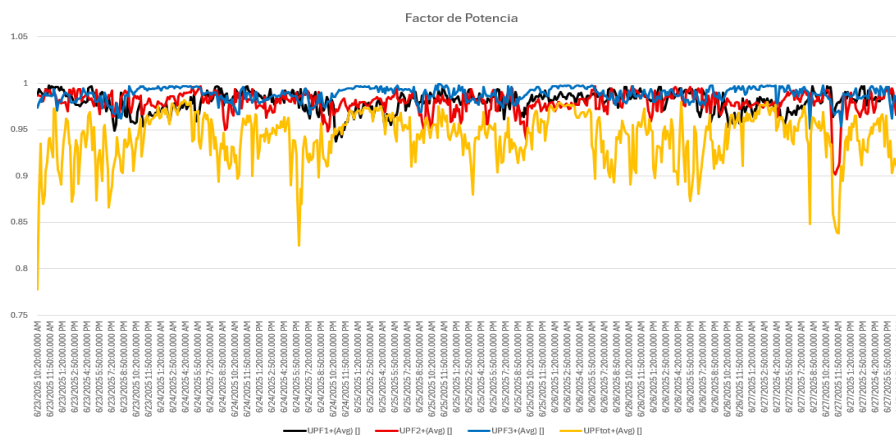
Parámetro	Valor
Factor de Potencia Promedio Fase A	0.98
Factor de Potencia Promedio Fase B	0.98
Factor de Potencia Promedio Fase C	0.99
Factor de Potencia Total	0.94

Elaboración: Stalin Hurtado

Se observa el valor que indica eficiencia del sistema si es bajo hay que corregir con capacitores, en esta grafica está dentro del rango permitida esto hace que redusca pérdidas y evita sanciones por bajo factor de potencia, mantenerlo alto mejora el desempeño de los equipos conectados.

Figura 8

Gráfica de factor de potencia en el intervalo medido



Fuente: Elaboración propia

• Consumo de Energía

En la tabla 5 se observa el consumo de energía promedio total y energía acumulada total en kilovatios hora (KWh), esto facilita determinar un acumulado del periodo de medición con el fin de estimar el promedio de consumo de energía a diario que seria 641.53 KWh de un día.

Tabla 3

Resultados obtenidos de energía promedio y consumida.

Parámetro	Valor
Energía Promedio Total (kWh)	4.45
Energía Acumulada Total (kWh)	2833.37
Periodo de medición (días)	4.42
Energía Diaria Calculada (kWh)	641.53

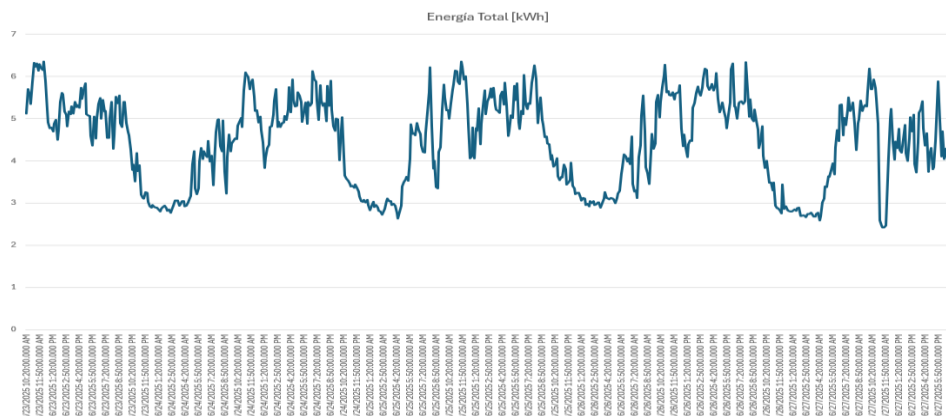
Elaboración: Stalin Hurtado

• Energía total

A continuación, se muestra el consumo total de energía en kilovatios hora y esto ayuda a estimar la factura eléctrica y prever ampliaciones. Es útil para control energético y planificación dentro de ello refleja el comportamiento diario de la demanda ayuda también a proyectar consumos futuros según patrones actuales.

Figura 9

Gráfica de energía en el intervalo medido



Fuente: Elaboración propia

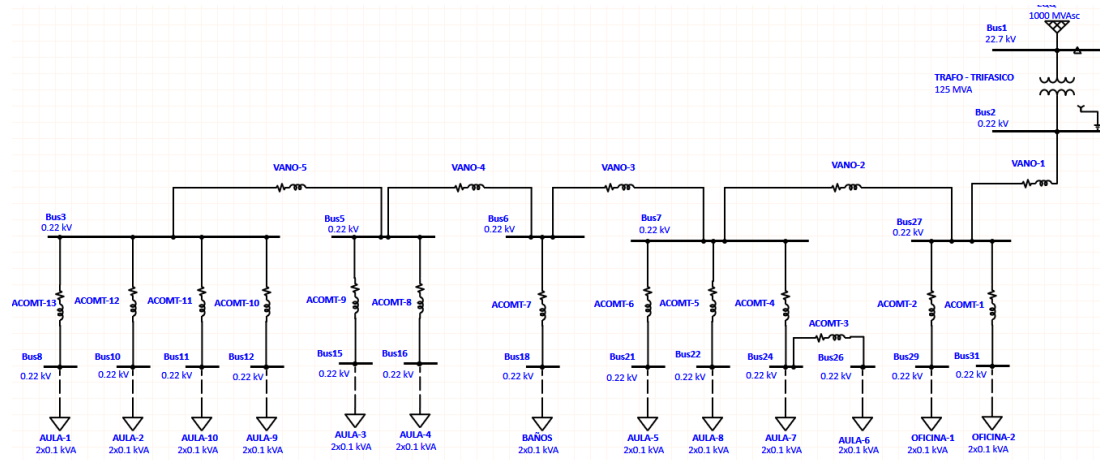
• Modelación del sistema eléctrico en ETAP

Se puede observar el modelado del sistema eléctrico que incluye cables, cargas, barras y transformadores que nos servirá como base para simulaciones, permitiendo así visualizar el

comportamiento eléctrico antes de intervenir también es útil para verificar el diseño sin afectar la operación real.

Figura 10

Modelación en la herramienta computacional ETAP



Fuente: Elaboración propia

- **Descripción de los elementos modelados**

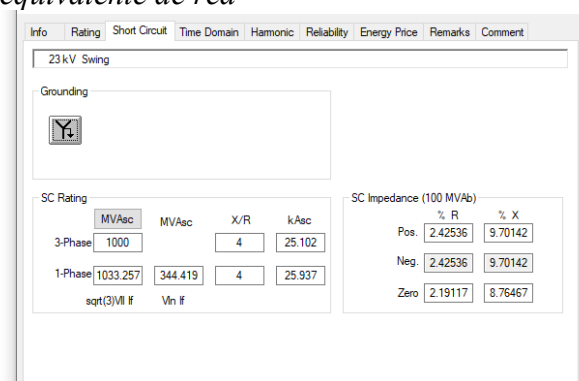
Equivalente de red. - El equivalente de red se modelo con los siguientes parámetros: con un voltaje nominal de 23 KV, con conexión Y aterrizado, la potencia aparente de 1000 MVA_{sc} y con una impedancia de secuencia cero (Z_0) = 4 seguidamente se da click en aceptar para finalizar la modelación del elemento.

Figura 11.

Parámetros para la modelación del equivalente de red

Empresa Electrica Quito.

1000 MVA_{sc}

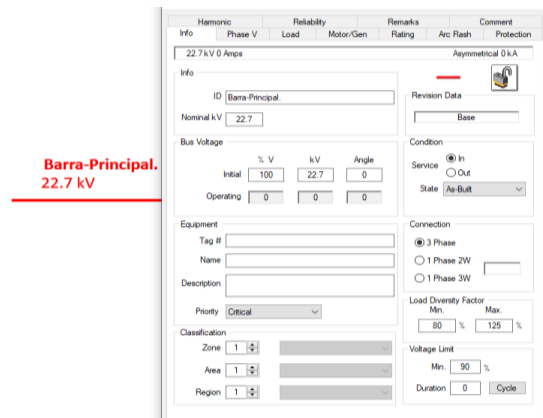
Fuente: Elaboración propia

Barras. -Las barras del sistema que suministra energía eléctrica a todo el bloque de capacitación continua de la Escuela de Infantería del Ejército se modelaron con los siguientes parámetros: un

voltaje nominal de barra 22.7 KV el tipo de barra que se utilizo es barra slack ya que va ser la encargada de entrega el 100 % de voltaje al sistema.

Figura 12

Modelación de la barra Slack

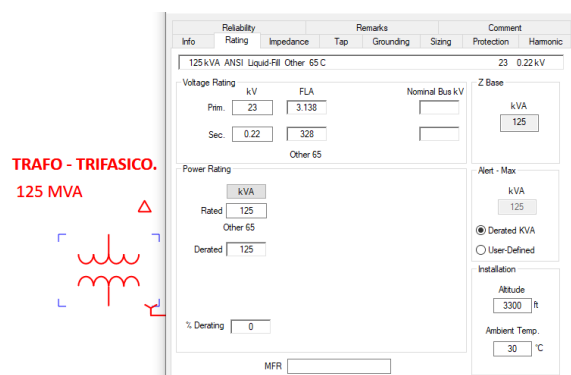


Fuente: Elaboración propia

Transformador. - El transformador que se modeló tiene los siguientes parámetros: el transformador es de 125 KVA trifásica, los voltajes nominales en el devanado primario son de 23 KV y en devanado secundario 0.22 KV, conexión Dyn5 el transformador.

Figura 13.

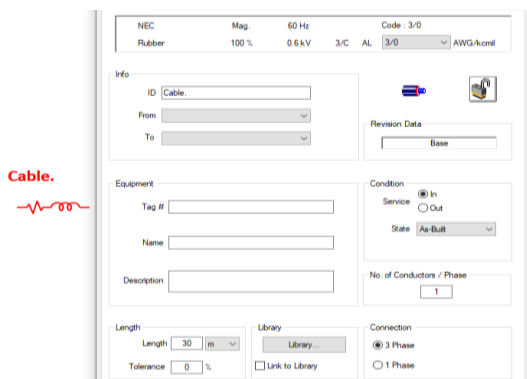
Modelado del transformador trifásico de 125 KVA



Fuente: Elaboración propia

Cable / conductor. - El cable que se creó tiene los siguientes parámetros: la distancia (Vano) cuantos metros (m) está de poste a poste en esta ocasión se tiene un vano de 30 m, se incorporó la librería del tipo de conductor de AL número 3/0 que soporta 0.6 KV a una frecuencia de 60 Hz.

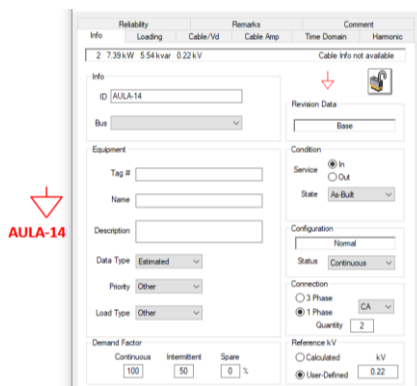
Figura 14.
Modelado del cable



Fuente: Elaboración propia

Carga. - La carga que se modeló tiene los siguientes parámetros: La potencia consumida de una de las aulas es de 7.39 KW, y una potencia reactiva de 5.54 Kvar la carga es monofásica tres hilos, voltajes de L-L es igual a 220 V, voltajes L-N es igual a 127 V y al tratarse de una carga monofásica seleccionar a cuál de las fases van conectados ejemplos de configuraciones: AB; AC o BC.

Figura 15
Modelación de la carga de una de las aulas de la EIE



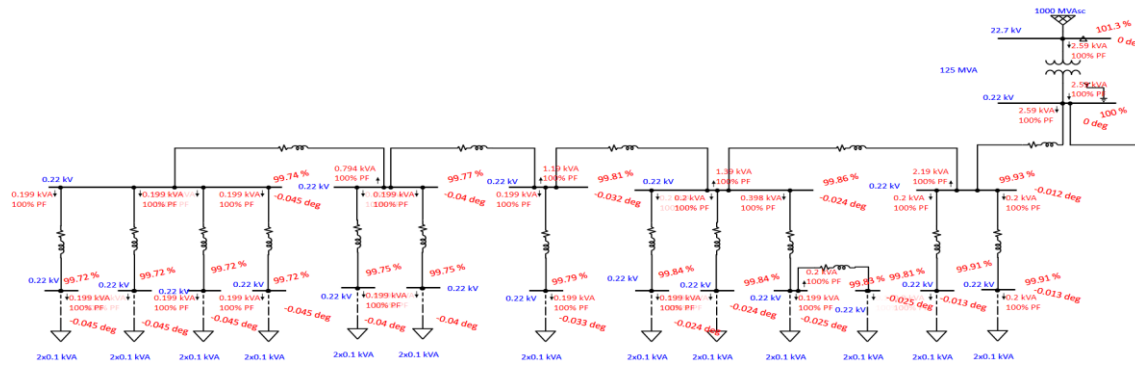
Fuente: Elaboración propia

- **Simulación.**

Simulación de las cargas que corresponde al sistema eléctrico actual, se pudo observar que no hay caídas de voltaje tampoco se observa sobrecargas esta simulación nos permite determinar la estabilidad operativa, sirve también para validar el diseño y mejorar el rendimiento, aporta datos confiables para proyecciones futuras.

Figura 16

Simulación de todo el sistema eléctrico en el ETAP



Fuente: Elaboración propia

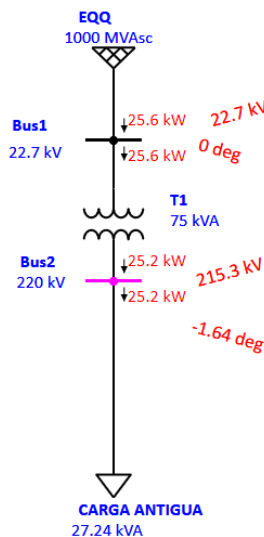
- **Determinar casos de estudio**

Caso 1: Flujo de potencias con demanda anterior

En este caso de estudio anterior cuando el sistema estaba operando con un transformador de 125 KVA. En la figura 21 se puede observar que existe sobrecargas en la barra y por lo tanto el factor de potencia baja es por eso que se ha visto necesario el cambio del transformador por uno de más capacidad.

Figura 17

Simulación de la carga anterior con el transformador de 75 KVA



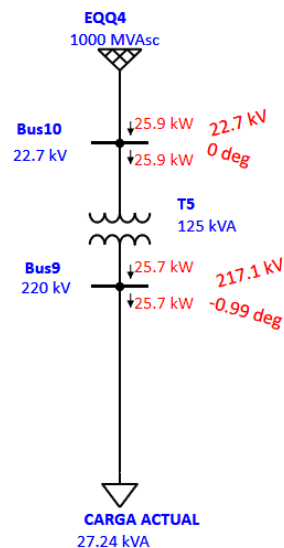
Fuente: Elaboración propia

Caso 2: Flujo de potencias con demanda actual

En este caso de estudio actual ya con el cambio del transformador de 125 KVA se evidenció que en la figura 22 que el sistema eléctrico funciona con normalidad y todos los parámetros están dentro de rango, observamos también que el factor de potencia sobre para de mínimo que sería 0.92.

Figura 18

Simulación de la carga actual con el transformador de 125 KVA



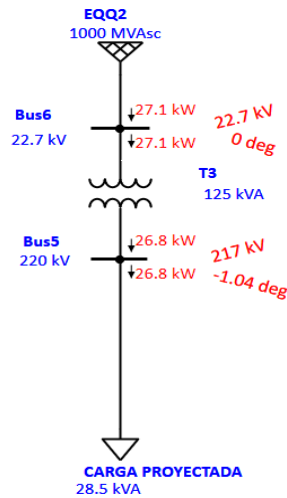
Fuente: Elaboración propia

Caso 3: Flujo de potencia con demanda proyectada

En este caso de estudio se observó en la figura 19 que se aumentó la carga actual y aun así sigue funcionando con normalidad ya que si mas no recuerdan en el apartado número 3.11. “Análisis de resultados” muestra la potencia del transformador está siendo consumida un 37.79 % del 100% de la capacidad del transformador.

Figura 19

Simulación de la carga proyectada



Fuente: Elaboración propia

- **Protecciones eléctricas**

Las protecciones eléctricas son esenciales para garantizar la seguridad y operatividad de los transformadores ante fallas o sobrecargas. El software CYMTCC permite analizar y coordinar curvas de protección mediante la representación gráfica de dispositivos como fusibles y relés, asegurando una respuesta rápida y selectiva. Su uso facilita la correcta elección de protecciones que eviten daños al transformador sin afectar innecesariamente otras partes del sistema. Así, se optimiza la continuidad del servicio eléctrico y se reducen riesgos operativos.

- **Placa del transformador trifásico**

La dimensión adecuada de las protecciones de un transformador en CYMTCC, se requieren los datos principales de su placa, tales como la potencia nominal (KVA), voltajes primario y secundario (kV/V), corriente nominal (A) y la impedancia (%Z), que permite calcular las corrientes de cortocircuito, también son esenciales la frecuencia de operación (Hz), el tipo de conexión (como Dyn5) y el número de fases, ya que influyen en el comportamiento del sistema ante fallas, con esta información, el software puede generar las curvas características del transformador y coordinar de forma precisa los dispositivos de protección.

Figura 20

Placa de datos del transformador trifásico



Fuente: Elaboración propia

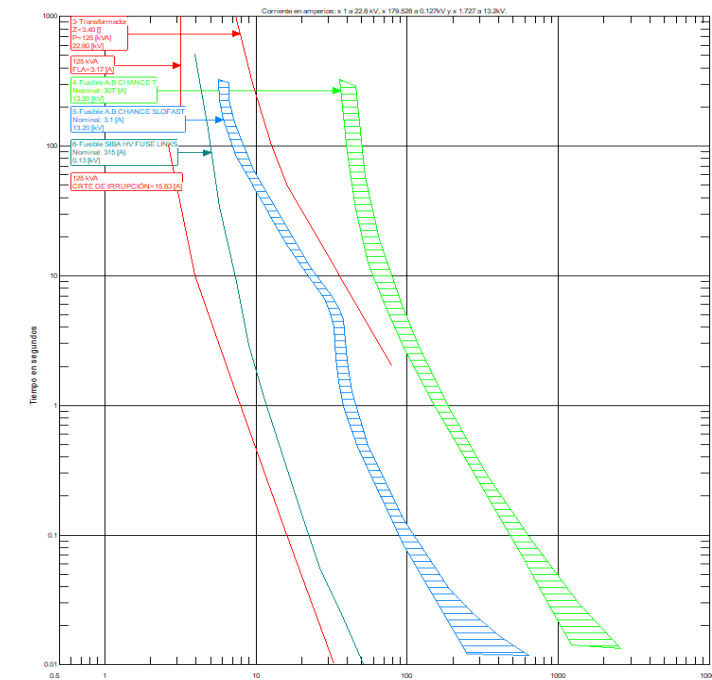
- **Modelación en CYMTCC**

Para la modelación se ayudó de herramientas computacionales en este caso de análisis de protecciones se hace énfasis en la utilización del software CYMTCC ya que es muy útil y de fácil determinación en criterios técnicos a continuación presentare los datos principales:

Potencia nominal: 125 KVA, voltaje primario (MV): 22,860 V, voltaje secundario (BV): 220/127 V, corriente nominal primaria (MV): 3.157 A, corriente nominal secundaria (BV): 328.040 A, porcentaje de impedancia: 3.4 %, frecuencia: 60 Hz, tipo de conexión: Dyn5, número de fases:

Figura 21

Curvas de protecciones para el transformador



Fuente: Elaboración propia

El gráfico presentado anteriormente corresponde a un estudio de coordinación de protecciones en un sistema eléctrico a distintos niveles de corriente de falla y su tiempo de respuesta, permitiendo verificar la activación adecuada entre elementos de protección en medio y bajo voltaje.

Se puede observar un transformador de 125 kVA, con una impedancia del 2.43%, alimentado a 22.8 kV y con una corriente nominal de 3.17 A, su curva de corriente de irrupción, que alcanza 15.83 A, está claramente delineada en rojo, sirviendo como referencia para evitar aperturas indeseadas por eventos transitorios.

Modele con tres fusibles: el CHANCE tipo T (30T, 13.2 kV), el CHANCE SLOFAST (3.1 A, 13.2 kV), y el SIBA HV FUSE LINK (315 A, 0.13 kV), cuyas curvas de operación (azul y verde) se sitúan en niveles superiores de corriente con tiempos de despeje que varían desde milisegundos hasta varios segundos.

Se observa que las curvas se encuentran correctamente escalonadas y sin solapamientos, lo que indica una protección selectiva, donde los dispositivos más cercanos a la falla actúan antes que los ubicados aguas arriba, esto permite minimizar las interrupciones del sistema y proteger adecuadamente el transformador contra sobre corrientes prolongadas también la adecuada

separación entre la curva de irrupción del transformador y los límites inferiores de los fusibles confirma que no habrá disparos por condiciones normales de energización, para finalizar este análisis confirma que el sistema ha sido correctamente modelado y simulado desde el punto de vista de coordinación y selectividad de protecciones adecuadas.

Discusión

El examen del estado actual del sistema eléctrico que sirve al Bloque de Capacitación Continua de la Escuela de Infantería del Ejército muestra que, bajo las circunstancias presentes, la red opera de manera eficiente, segura y cumpliendo con las normativas definidas en la Regulación Nro. ARCONEL 009/24. Los voltajes medidos se mantienen dentro de rangos adecuados de los 220 V entre fases y 127 V, entre fase y neutro, gracias al suministro de un transformador trifásico bien equilibrado. En donde la estabilidad inicial ha permitido progresar hacia un análisis más exhaustivo mediante simulaciones por computadora, donde se han considerado distintos escenarios operativos para evaluar el nivel de carga, la distribución de tensiones en cada segmento y la proyección de la red frente a un eventual incremento en la demanda (García & Romero, 2021).

En la simulación general, se subrayó la relevancia del estudio del flujo de carga como herramienta para detectar tramos sobrecargados, prever fallas y asegurar el equilibrio en toda la red. En el primer análisis de caso, se constató que el transformador de 75 KVA funcionaba al 62.99% de su capacidad en las condiciones actuales, lo cual era adecuado, pero no brindaba suficientes garantías ante posibles picos de demanda, lo que ponía en riesgo la fiabilidad del sistema en situaciones críticas por consiguiente las circunstancias evidenció la urgencia de mejorar la capacidad instalada (Puco & Muñoz, 2021).

En el segundo análisis de caso, se utilizó un transformador de 125 KVA que operó al 37.79%, en donde se ofreció una mayor flexibilidad en las operaciones y una mejor capacidad para enfrentar situaciones inesperadas. Las condiciones no solo aumentan la seguridad y la estabilidad del sistema, sino que también permite manejar un incremento de carga de hasta el 80% sin comprometer la durabilidad del equipo (Tibanlombo y otros, 2020). En la previsión se

validó en el tercer análisis, donde se evaluó el comportamiento del sistema ante un crecimiento esperado, y los resultados mostraron que la carga instalada no excedería dicho límite. Esto coincide con lo que indican Vargas y Orizondo (2023) quienes señalan que operar de manera continua por encima del 80% de la capacidad de un transformador puede acelerar su deterioro. Por lo tanto, disponer de un sistema sobredimensionado, fundamentado en un estudio técnico como el modelado presentado, es una táctica efectiva para prolongar la vida útil de la infraestructura (Porta y otros, 2023).

En consideración al efecto de la herramienta informática, el empleo del software ETAP fue fundamental en la planificación eléctrica. Su implementación facilitó la simulación de diferentes escenarios de expansión sin afectar las operaciones actuales, permitió evaluar los límites de carga, detectar puntos críticos y proponer soluciones de manera anticipada. En donde la capacidad de análisis optimizó la planificación estratégica de la Escuela de Infantería, minimizó riesgos técnicos y previno decisiones apresuradas en la gestión energética. Como indican Badakhshan y otros, (2024) la utilización de herramientas de simulación en sistemas eléctricos fundamenta las decisiones operativas, incrementa la eficiencia y asegura la sostenibilidad del sistema a corto y medio plazo.

Los resultados y simulaciones indicaron que el sistema actual es capaz de atender la demanda presente y futura, siempre que se mantenga una vigilancia constante y se sigan aplicando herramientas de simulación para prever riesgos y dimensionar adecuadamente la infraestructura eléctrica de la institución.

Conclusiones

El estudio permitió realizar un diagnóstico técnico exhaustivo de la infraestructura eléctrica de media y baja tensión que provee energía a las aulas del bloque de capacitación continua de la Escuela de Infantería del Ejército. A través de un levantamiento en el lugar y la utilización de herramientas como AutoCAD y ETAP, se pudieron identificar de manera precisa las condiciones reales del sistema, así como las principales carencias relacionadas con la distribución de cargas, la protección inadecuada y las exigencias de mantenimiento. Entre los



hallazgos más significativos, se destaca la necesidad urgente de mejorar el equilibrio en la red y robustecer los elementos de protección para asegurar tanto la seguridad como la continuidad del servicio.

La modelación y simulación a través de ETAP permitieron ilustrar el comportamiento eléctrico en diferentes situaciones operativas, facilitando el análisis de variables como caídas de voltaje, niveles de cortocircuito y flujos de carga. Estos resultados respaldaron la formulación de un plan operativo a corto y mediano plazo, centrado en incrementar la capacidad de carga del sistema, actualizar las protecciones eléctricas y redistribuir los circuitos de manera más eficiente. Esta planificación ofrece una base técnica firme para garantizar un suministro energético confiable, seguro y adaptable al crecimiento futuro de la demanda de la institución.

Además, se identificó una limitación considerable: la ausencia de un analizador de redes instalado de forma permanente, lo que limita la capacidad de monitoreo permanente de los parámetros eléctricos. Las mediciones realizadas durante el análisis fueron puntuales, lo que impidió obtener una perspectiva histórica del comportamiento del sistema y complicó la identificación temprana de problemas como desbalances, armónicos o caídas de voltaje. Esta falta restringe el control operativo y disminuye la capacidad de respuesta ante fallos o cambios en la carga.

Bibliografía

- Badakhshan, E., Mustafee, N., & Bahadori, R. (2024). Aplicación de la simulación y el aprendizaje automático en la gestión de la cadena de suministro: una síntesis de la literatura utilizando el marco de clasificación de literatura Sim-ML. *Ingeniería informática e industrial*, 198(3), 1239. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110649>
- Cano, A., Rodríguez, M., & Pérez, L. (2020). Fundamentos de los sistemas eléctricos de potencia. Universitaria Técnica .
- García, C. J., & Romero, Á. R. (2021). Análisis del nivel de voltaje entregado por la subestación santa lucía cnel ep unidad de negocios Guayas - Los Ríos. *Carrera de Ingeniería Eléctrica*, 32(3), 123. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19909/1/UPS-GT003148.pdf>
- García, H., & Medina, R. (2022). Simulación de redes eléctricas ante crecimiento de carga usando ETAP. 15(2), 102–115. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21941/1/UPS%20-%20TTS626.pdf>
- GTSR Ecuador. (12 de Mayo de 2013). Los militares en la seguridad interna: Realidad y desafíos para Ecuador. *Grupo de Trabajo en Seguridad Regional (GTSR)*, pág. 123. Obtenido de <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/la-seguridad/10063.pdf>
- Hernández, C. E., & Carpio, N. (2019). Introducción a los tipos de muestreo. *Ministerio de Salud*, 2(1), 75-79. <https://doi.org/10.5377/alerta.v2i1.7535>
- Hernández, J., & Vargas, S. (2019). Planificación operativa de sistemas eléctricos en entornos complejos. *Revista de Ingeniería Eléctrica*, 34(4), 90–103. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169424095006.pdf>
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. P. (2019). Metodología de la investigación. McGraw-Hill.
- Jiménez, L. &. (2021). Diseño de sistemas eléctricos en medio y bajo voltaje. Universidad Técnica Nacional. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22510/1/UPS-GT003716.pdf>
- López, F., & Herrera, V. (2023). Optimización de redes eléctricas con simulación de escenarios proyectados. *Energía Inteligente*, 18(1), 55–68. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/29971/1/UPS-GT006125.pdf>
- Montero, D. M., & Suquinahua, P. C. (2024). Estudio de arco eléctrico en baja tensión del Bloque E de la Universidad Politécnica Salesiana mediante el Simulador ETAP. 2(1), 134. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27322>
- Morales, D., & Peña, S. (2019). Problemas comunes en la documentación eléctrica institucional. *Revista de Mantenimiento*, 23(4), 72–81. Obtenido de <https://start.docuware.com/es/blog/cinco-errores-que-debe-evitar-al-elegir-un-sistema-de-gesti%C3%B3n-documental>
- Porta, R., Romano, N., & Dalaison, W. (7 de Octubre de 2023). ¿Por qué son importantes los estudios técnicos en la etapa de preinversión de un proyecto de infraestructura? . Obtenido de <https://n9.cl/z6zyx>



- Puco, C. K., & Muñoz, P. J. (2021). Óptima determinación de la capacidad en transformadores de distribución considerando costos asociados a la inversión y pérdidas, usando programación no lineal entera mixta y bajo escenarios de demanda. Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20745/1/UPS%20-%20TTS461.pdf>
- Quintanilla, D. J., & Barrón, A. J. (2013). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. En U. T. Guanajuato. ECORFAN Ciencias de la Ingeniería y Tecnología.
- Saavedra, M. A., & Sánchez, Z. G. (2022). Método de enseñanza/aprendizaje aplicado a los sistemas de energía eléctrica. *Scientia et Technica*, 21(7), 7-14. <https://doi.org/10.22517/23447214.24546>
- Tibanlombo, V., Ramírez, J., Granda, N., & Quilumba, F. (2020). Evaluación del Estado del Aislamiento en Transformadores a partir de Mediciones IFRA de Alto Voltaje. *Revista Politécnica*, 45(1), 39-49. <https://doi.org/10.33333/rp.vol45n1.04>
- Torres, D., & Mejía, C. (2021). Técnicas de recolección de datos en estudios técnicos de energía. *Revista de Investigación Energética*, 12(4), 42–54. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7799401>
- Vargas, E. F., & Orizondo, M. R. (2023). Análisis de cargabilidad y pérdida de vida útil de los transformadores de 500/230kv, instalados en el sistema nacional interconectado. Universidad Politécnica Salesiana, Quito . Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24846/1/TTS1303.pdf>
- Vizcaíno, Z. P., Cedeño, C. R., & Maldonado, P. I. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 9723-9762. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658
- Zamora, H., & Herrera, F. (2023). Diseños metodológicos aplicados a la planificación eléctrica con herramientas digitales. *Avances en Ingeniería*, 17(1), 33–47. Obtenido de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/128870/TBDL1de1.pdf?sequence=1>



Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

Agradezco de manera especial, a mis padres Guido Hurtado y Bertha Ayala, quienes, con su amor incondicional, sacrificio, consejos y apoyo inquebrantable han sido el pilar fundamental en mi formación académica y personal. Su ejemplo de perseverancia y valores ha sido mi mayor inspiración para superarme en la vida. También a mi pequeño hijo, Derek quien ha sido el motor de mi vida y hacen que mi vida se llene de alegría.

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.