UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD

TEMA:

UBICACIÓN DE CAPACITORES EN EL ALIMENTADOR SAN AGUSTÍN NO.5 DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE S. A. PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Trabajo de Grado previo a la obtención del título de Ingeniera Eléctrica

AUTOR:

Lizeth Estefanía Sánchez Quilumba

DIRECTOR:

Ing. Segundo Hernán Pérez Cruz MSc.

Ibarra, 2024

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004566632		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Sánchez Quilumba Lizeth Estefanía		
DIRECCIÓN:	Santa Berta		
EMAIL:	lesanchezq@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		**TELÉFONO MÓVIL:**	0980284241

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	UBICACIÓN DE CAPACITORES EN EL ALIMENTADOR SAN AGUSTÍN NO.5 DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE S. A. PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA.
AUTOR (ES):	Sánchez Quilumba Lizeth Estefanía
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	22/07/2024
PROGRAMA:	■ **PREGRADO** □ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Eléctrica
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Pérez Cruz Segundo Hernán MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 24 días del mes de julio de 2024

EL AUTOR:

.....

Nombre: **Lizeth Estefanía Sánchez Quilumba**

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD

CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, Pérez Cruz Segundo Hernán en calidad de director de la señorita estudiante Sánchez Quilumba Lizeth Estefanía, certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del Trabajo de Integración Curricular con el tema: UBICACIÓN DE CAPACITORES EN EL ALIMENTADOR SAN AGUSTÍN NO.5 DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE S. A. PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Para la obtención del título de Ingeniera Eléctrica, aprobado la defensa, impresión y empastado.

.....Firma.....

Ing. Segundo Hernán Pérez Cruz MSc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo a Dios Padre por brindarme la fortaleza para seguir y cumplir mis objetivos.

A mi mami Rosita Sánchez le agradezco infinitamente por su inmenso amor hacia mí, su constante apoyo, sus sabios consejos y por haberme inculcado sólidos valores a lo largo de este gran trayecto. Gracias por ser la fuerza que me impulso a cumplir esta meta de ser profesional.

A mis hermanos, Bryan y Joselin, les doy las gracias de todo corazón por su inquebrantable ánimo, cariño y apoyo tanto en los momentos buenos y malos, los quiero mucho.

A mi querido novio, Carlos Vinueza, agradezco con todo mi ser por ser ese pilar fundamental durante este recorrido estudiantil. Tu apoyo incondicional, comprensión y amor han sido la luz que ha hecho este camino más llevadero. Gracias por hacerme la vida un poco más fácil.

A mis amigos Taty, Jezz, Katy, José, Ricardo, Daya, y Billy: les agradezco por su cálida amistad y por haberme acompañado a lo largo de este trayecto universitario, compartiendo tanto las alegrías como las tristezas, y brindándome palabras de apoyo en todo momento.

Por ultimo y menos importante a mi gatito Q.E.P.D. por haberme acompañado en todas las malas noches desde nivelación hasta culminar la carrera, siendo una fuente constante de alegrías y consuelos.

Lizeth Sánchez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios Padre por brindarme la fortaleza y determinación necesarias para alcanzar mis objetivos.

A mis padres Rosita Sánchez y Edgar Corrales, por su amor incondicional, apoyo constante y comprensión a lo largo de este camino académico.

A la Universidad Técnica del Norte por brindarme la oportunidad de estudiar la carrera de electricidad, así como a sus dedicados docentes por compartir sus conocimiento y sabios consejos.

A la Empresa Eléctrica Regional del Norte S.A. y al Departamento de Estudios Eléctricos por su colaboración y apoyo en el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mi tutor, el MSc. Hernán Pérez, por su invaluable orientación, paciencia y apoyo constante a lo largo de todo este proceso. El conocimiento y experiencia que ha compartido conmigo han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos y compañeros que he conocido a lo largo de mi carrera, por su compañía, apoyo mutuo y ánimo en cada etapa del camino. Sus palabras de aliento y amistad han sido importantes en mi formación académica y personal.

Por último, mi reconocimiento a todos aquellos que, de alguna manera, contribuyeron a mi crecimiento y formación. Su apoyo ha sido de gran valor en mi trayecto hacia la culminación de este importante logro.

Lizeth Sánchez

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN 1
ABSTRACT 2
CAPITULO I 3
INTRODUCCIÓN 3
1.1 TEMA 3
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. 3
1.2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 3
1.3 OBJETIVOS 4
1.4 ALCANCE Y DELIMITACIÓN 4
1.5 JUSTIFICACIÓN 5
CAPÍTULO II 5
2.1 ANTECEDENTES 6
2.2 BASES TEÓRICAS 6
2.2.1 SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA 6
2.1.2 SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN 7
2.1.3 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN 7
2.1.4 PÉRDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA 9
2.1.5 ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS 13
2.1.6 ELEMENTOS A TENER EN CUENTA PARA LA UBICACIÓN DE CAPACITORES EN LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS 19
2.1.7 IMPACTO EN PÉRDIDAS TÉCNICAS 19
CAPÍTULO III 20
3.1 METODOLOGÍA 20
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN MATERIALES, EQUIPOS Y SOFTWARE 21
3.3 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO 22
3.3.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ELEMENTOS DEL ALIMENTADOR 23
3.4 ECUACIONES MATEMÁTICAS UTILIZADAS 24
3.4.1 MÉTODO OLADE 24
3.5 PROCEDIMIENTO INTEGRAL 26
3.5.1 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN 26

3.5.2 MODELACIÓN DE LA RED DE BAJO VOLTAJE 27
3.5.3 UBICACIÓN DE CAPACITORES 39
CAPITULO IV 43
RESULTADOS Y ANÁLISIS 43
4.1 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE POTENCIA DEL ALIMENTADOR SAN AGUSTÍN NO. 5 MEDIANTE LA MODELACIÓN DE LA RED DE BAJO VOLTAJE 43
4.2 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE POTENCIA DEL ALIMENTADOR SAN AGUSTÍN NO. 5 MEDIANTE LA UBICACIÓN DE CAPACITORES 44
4.3 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA MEDIANTE EL MÉTODO DE MENTOR POVEDA 45
4.3.1 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE POTENCIA 45
4.3.2 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS 47
4.4 RESULTADOS FINALES 52
4.4.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA UBICACIÓN DE CAPACITORES PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA 52
CONCLUSIONES 55
RECOMENDACIONES 56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 57
ANEXOS 60
ANEXO A: 60
ANEXO B: 60
ANEXO C 60
ANEXO D: 61
ANEXO E: 61
ANEXO F: 62
ANEXO G: 63
ANEXO H: 63
ANEXO I: 64
ANEXO J: 64
ANEXO K: 65
ANEXO L: 65
ANEXO M: 66

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema eléctrico de potencia 7
Figura 2 Clasificación de pérdidas técnica y no técnicas. 9
Figura 3 Pérdidas no técnicas 10
Figura 4 Pérdidas técnicas 11
Figura 5 Efecto Joule 12
Figura 6 Efecto corona 12
Figura 7 Conexión delta 16
Figura 8 Capacitores conectados en estrella 17
Figura 9 Conexión de banco de capacitores en estrella flotante. 18
Figura 10 Banco de capacitores conectados en doble estrella 18
Figura 11 Ubicación del alimentador San Agustín No. 5 22
Figura 12 Diagrama unifilar del alimentador San Agustín No. 5 22
Figura 13 Topología del alimentador San Agustín No. 5 23
Figura 14 Intervalos de tiempo 26
Figura 15 Códigos de los alimentadores 27
Figura 16 Alimentador San Agustín No. 5 27
Figura 17 Propiedades de la red 28
Figura 18 Propiedades de la red- fuente 28
Figura 19 Tensiones equivalentes de la fuente 29
Figura 20 Demanda de la red 29
Figura 21 Características del transformador 30
Figura 22 Fusible en desconexión 30
Figura 23 Propiedades de la red de un transformador monofásicos y transformador trifásico 31
Figura 24 Propiedades de un transformador monofásico 32
Figura 25 Propiedades de un transformador trifásico 32
Figura 26 Propiedades de la red secundaria 33
Figura 27 SHP de la red de bajo voltaje 33
Figura 28 Datos técnicos de tramos monofásicos 34
Figura 29 Datos técnicos de tramos trifásicos 34
Figura 30 Datos técnicos del cable para acometidas 35

Figura 31 Datos técnicos del cable para luminarias 35

Figura 32 Datos técnicos de la red de las acometidas 36

Figura 33 Datos técnicos de acometidas 36

Figura 34 Datos técnicos acometidas 37

Figura 35 Conexión del alimentador a la vista imbricada 37

Figura 36 Distribución de carga 38

Figura 37 Reporte sumario **Figura 38** Flujo de carga 39

Figura 39 Módulo de ubicación de capacitores 39

Figura 40 Restricciones y exclusiones para la ubicación del condensador 40

Figura 41 Tamaño de baterías 40

Figura 42 Condiciones de carga 41

Figura 43 Resultados 41

Figura 44 Ubicación de condensador 42

Figura 45 Cálculo de potencia de pérdidas para la línea aérea en MV 45

Figura 46 Cálculo de potencia de pérdidas para cable en MV 45

Figura 47 Cálculo de potencia de pérdidas para el cobre Trafo 46

Figura 48 Cálculo de potencia de pérdidas para red de BV 46

Figura 49 Cálculo de potencia de pérdidas para acometidas 46

Figura 50 Cálculo de potencia de pérdidas para alumbrado público 46

Figura 51 Pérdidas de potencia en vacío 46

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Materiales, equipos y software empleados en la investigación 21

Tabla 2 Especificaciones del *a*limentador San Agustín No*.* 5 23

Tabla 3 Especificaciones técnicas 24

Tabla 4 Potencia de pérdidas en el alimentador en condiciones iniciales 43

Tabla 5 Potencia de pérdidas en el alimentador con la ubicación de capacitores 44

Tabla 6 Datos para obtener la pérdida de potencia en cada intervalo 45

Tabla 7 Pérdidas de energía sin ubicación de capacitores 47

Tabla 8 Pérdidas de energía con un capacitor 47

Tabla 9 Características del condensador ubicado en el primer estudio 48

Tabla 10 Pérdidas de energía con dos capacitores 48

Tabla 11 Características de los capacitores ubicados en el segundo estudio 49

Tabla 12 Pérdidas de energía con nueve capacitores 49

Tabla 13 Características de los capacitores ubicados en el tercer estudio 49

Tabla 14 Pérdidas de energía con catorce capacitores 50

Tabla 15 Características de los capacitores ubicados en el cuarto estudio 50

Tabla 16 Pérdidas de energía con dieciocho capacitores 51

Tabla 17 Características de los capacitores ubicados en el quinto estudio 51

Tabla 18 Comparativa con la ubicación de un capacitor 52

Tabla 19 Comparativa con la ubicación de dos capacitores 52

Tabla 20 Comparativa con la ubicación de 9 capacitores 53

Tabla 21 Comparativa con la ubicación de 14 capacitores 53

Tabla 22 Comparativa con la ubicación de 18 capacitores 54

RESUMEN

El presente trabajo de grado se centra en el estudio de la ubicación de capacitores en el alimentador primario San Agustín No. 5 de la Empresa Eléctrica Regional Norte con el objetivo de disminuir las pérdidas técnicas de energía eléctrica. Para lograrlo, se emplearon diversas metodologías, incluyendo análisis de campo, modelado y simulación, así como enfoques imperativos, cuantitativos y comparativos. El desarrollo de este estudio requirió el manejo especializado de software como ArcGIS y CYME, junto con sus respectivos módulos, para la modelación del alimentador, la ubicación de capacitores. Se realizaron análisis detallados de la distribución de carga, flujos de carga y se generaron reportes sumarios con datos cruciales, como las pérdidas de potencia. Estos resultados fueron fundamentales para el cálculo de las pérdidas técnicas totales de energía eléctrica utilizando el método OLADE del Ing. Mentor Poveda. Posteriormente, se compararon las pérdidas de energía en cada análisis de ubicación de capacitores con las condiciones iniciales, lo que permitió seleccionar la estrategia para la reducción de pérdidas técnicas de energía eléctrica.

Palabras clave: Capacitores, red de medio voltaje, pérdidas técnicas, ubicación de capacitores, red de bajo voltaje

ABSTRACT

The present work of degree focuses on the study of the location of capacitors in the primary feeder San Agustín No. 5 of the Empresa Eléctrica Regional Norte with the aim of reducing energy losses. Various methodologies were used, including field analysis, modelling and simulation, as well as imperative, quantitative and comparative approaches. The development of this study required specialized management of software such as ArcGIS and CYME, together with their respective modules, for the modeling of the feeder, the location of the capacitors. Detailed load distribution analyses, load flows and summary reports were generated with crucial data such as energy losses. These results were fundamental for the calculation of total technical losses of electrical energy using the OLADE method of Ing. Mentor Poveda. Subsequently, the energy losses in each capacitor location analysis were compared with the initial conditions, This enabled the selection of a strategy to reduce technical losses of electrical energy.

Keywords: Capacitors, medium voltage network, technical losses, capacitor location, low voltage network.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Tema

Ubicación De Capacitores En El Alimentador San Agustín No.5 De La Empresa Eléctrica Regional Norte S. A. para la disminución de pérdidas técnicas de energía eléctrica.

1.2 Planteamiento del problema.

En los últimos años, la Empresa Eléctrica Regional Norte S. A ha experimentado un preocupante incremento en las pérdidas de energía eléctrica en su sistema eléctrico de potencia. Ya que se evidencia un aumento en las pérdidas totales de energía, pasando del 9.10% en 2020 al 12.11% en 2023 [1]. Este incremento en las pérdidas plantea un desafío para la empresa, ya que el deterioro de la eficiencia en el sistema de distribución eléctrica puede impactar negativamente en su operatividad.

Las pérdidas de energía en los sistemas de distribución pueden ser causadas por factores como el efecto Joule y actividades fraudulentas. Además de que estas pérdidas, se encuentran presentes en diversas etapas del proceso de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, complicando la gestión operativa de la compañía.

Debido a esto se procederá a analizar la ubicación de capacitores en el alimentador San Agustín No. 5 para disminuir las pérdidas de energía eléctrica .

1.2.1 Formulación del problema

¿Cómo determinar la ubicación de capacitores en el alimentador San Agustín No 5, para la reducción de las pérdidas técnicas de energía eléctrica?

1.3 Objetivos

Los objetivos planteados para este trabajo fueron

Objetivo general

Realizar el estudio para la ubicación de capacitores en el alimentador San Agustín No. 5 de la Empresa Eléctrica Regional Norte, mediante el análisis y modelación de las redes del alimentador primario, para la reducción de pérdidas técnicas de energía eléctrica.

Objetivos específicos

- Analizar estrategias para la disminución de pérdidas de energía eléctrica en los alimentadores primarios.
- Modelar las pérdidas de energía eléctrica del alimentador San Agustín No. 5
- Determinar la ubicación de capacitores mediante software considerando criterios de reducción de pérdidas de energía eléctrica.

1.4 Alcance y delimitación

El presente trabajo de titulación se basa en la investigación bibliográfica sobre la disminución de pérdidas de energía eléctrica en los alimentadores primarios, con el fin de implementar estrategias efectivas en la investigación a ejecutarse. Este trabajo se enfocará en el alimentador primario San Agustín No. 5, y se centrará en la ubicación estratégica de capacitores como una solución para reducir las pérdidas de energía en dicho alimentador.

Para llevar a cabo este estudio, se empleará la interfaz ArcGIS para migrar la información de la red de bajo voltaje hacia el software CYME, además de recopilar y verificar con

visitas técnicas la información proporcionada por EmelNorte a fin de evaluar el estado actual del alimentador. Además, se utilizarán los registros de consumo del sistema de medición en la cabecera del alimentador primario para poder tener las pérdidas de energía.

Una vez recopilada y analizada toda la información relevante, se procederá a modelar el alimentador primario antes y después de determinar la ubicación de los capacitores. Este enfoque permitirá realizar una comparación para demostrar la disminución de las pérdidas de energía eléctrica en el alimentador San Agustín No. 5.

1.5 Justificación

La electricidad es un recurso vital en la sociedad actual, y su distribución eficiente es fundamental para garantizar un suministro sostenible y económico. En este contexto, las pérdidas de energía eléctrica en los alimentadores primarios son un desafío que afecta tanto a las empresas distribuidoras como a los consumidores.

Gracias al convenio de cooperación entre la Universidad Técnica del Norte y la Empresa Eléctrica Regional Norte S.A., se nos brinda la oportunidad de acceder a información detallada sobre el alimentador, así como al uso de herramientas especializadas como el software CYME con sus diferentes módulos y la interfaz ArcGIS. Este enfoque tiene como objetivo lograr la ubicación de capacitores en el alimentador San Agustín No. 5, con el propósito de reducir las pérdidas de energía

Este estudio no solo aspira a reducir las pérdidas de energía eléctrica, sino también a sentar bases para futuras investigaciones en el campo de la electricidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Las pérdidas de energía eléctrica a nivel mundial representan un desafío significativo para las empresas distribuidoras, tanto en términos económicos como operativos[2]. En Ecuador, las pérdidas en los sistemas de distribución han experimentado un aumento notable en los últimos años, dado que, en el año 2022, las pérdidas de energía de los sistemas de distribución fueron de 3.662,60 GWh, lo que implica un incremento de 1.197,34 GWh en comparación con las registradas en el 2013 de 2.465,26 GWh [3].

Estas pérdidas se dividen en pérdidas técnicas, que ocurren durante el transporte y distribución de energía dentro de la red debido al calentamiento de los transformadores y conductores, y pérdidas no técnicas, que incluyen la energía consumida pero no facturada debido a diversos factores como errores administrativos, anomalías en la medición y fraudes de energía[4]. Abordar estas pérdidas resulta crucial para lograr la eficiencia en la distribución de energía eléctrica

En este contexto, es fundamental implementar estrategias efectivas para reducir las pérdidas de energía eléctrica y mejorar la eficiencia de los sistemas de distribución a nivel nacional

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Sistema eléctrico de potencia

El sistema eléctrico de potencia cumple con la función de transportación de energía eléctrica y está conformado por varias etapas tales como generación, transmisión, y distribución hasta llegar al consumidor final [5].

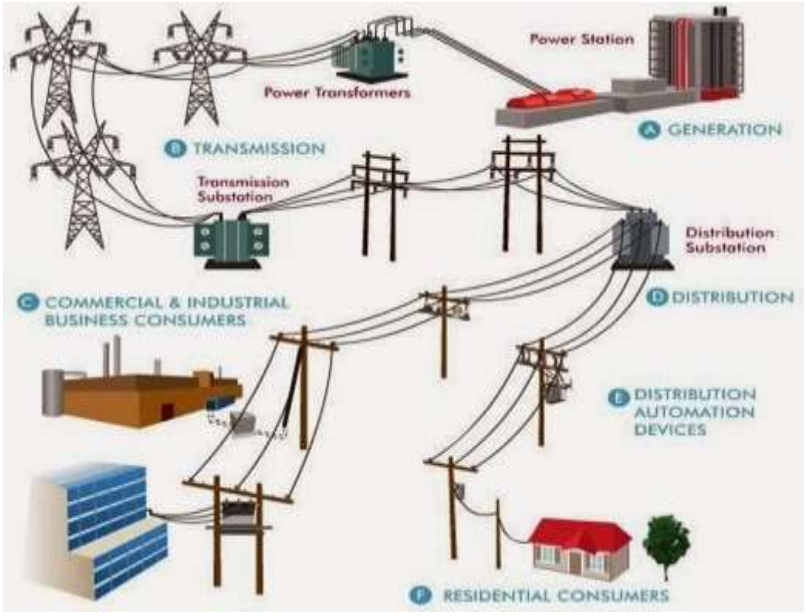


Figura 1 Sistema eléctrico de potencia [6]

2.1.2 Subestación de distribución

Es un conjunto de equipos de conexión, protección, conductores, barras, transformadores y demás equipos auxiliares, cuyas funciones son las de transmitir, distribuir, seccionar y transformar, con la finalidad de transferir la potencia de alto voltaje a nivel de medio voltaje para conexión de alimentadores primarios [7].

Generalmente el nivel de voltaje del lado primario es de 69 kV y se lo reduce a un nivel de voltaje de 13,8 kV para abastecer a los alimentadores primarios de la red de distribución [8]

2.1.3 Sistema de distribución

El sistema de distribución de energía eléctrica abarca todos los componentes necesarios para llevar la electricidad desde las subestaciones, donde se disminuyen los voltajes a niveles aptos para la distribución, hasta los transformadores de distribución acorde con los niveles de voltaje que van desde 13,8 y 22 kV en media tensión, y 120/240V en

monofásico de baja tensión, así como 127/220V en trifásico, hasta alcanzar al usuario final [9]

2.1.3.1 Alimentadores primarios

Un alimentador primario es una línea de transmisión de energía eléctrica que establece una conexión desde la subestación de transmisión hacia la subestación de distribución [10].

Los niveles de voltajes en los alimentadores primarios más comunes son 6,3kV y 22,8kV, y 13,8kV. Los voltajes más altos se emplean en zonas donde hay un crecimiento significativo de la carga eléctrica o zonas donde se instalan industrias pequeñas o medianas [8].

2.1.3.2 Transformadores de distribución

El transformador es un equipo eléctrico estático en los sistemas de distribución de energía eléctrica [11], este disminuye el voltaje procedente de la red de medio voltaje a un nivel de bajo voltaje para uso industrial, residencial, comercial y alumbrado público. Los niveles de bajo voltaje más comunes son de 120/240V en sistemas monofásicos y 127/220V en sistemas trifásicos[8].

2.1.3.3 Redes secundarias

Las redes de distribución secundarias transportan la energía eléctrica desde la salida del transformador de distribución hasta los diferentes puntos de conexión de cada uno de los abonados conectados a la red [12].

2.1.3.4 Acometidas

Es un conjunto de conductores y dispositivos utilizados para proveer la energía eléctrica, desde el alimentador secundario hacia las instalaciones del usuario final [13].

2.1.3.5 Alumbrado publico

Constituye la iluminación de vías y espacios públicos con el propósito de facilitar la movilidad, promover la seguridad, agregar un elemento decorativo y permitir la práctica de actividades deportivas [14].

2.1.4 Pérdidas de energía eléctrica

Las pérdidas de energía eléctrica se generan cuando los ingresos de las empresas distribuidoras de energía son menores que el valor total de la energía consumida. Esto se debe a que un porcentaje de la energía consumida no se factura, y estas pérdidas se clasifican en técnicas y no técnicas debido a diversos factores [15].

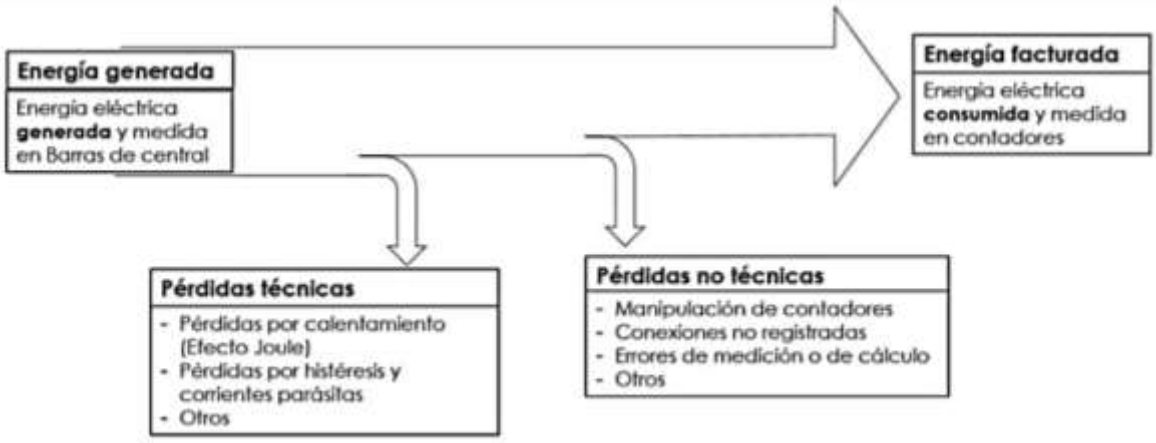


Figura 2 Clasificación de pérdidas técnica y no técnicas [16].

2.1.4.1 Pérdidas no técnicas

Las pérdidas no técnicas de energía eléctrica están relacionadas con la ineficiencia en la toma de lecturas en los sistemas de medición, facturación, recaudación e instalaciones

clandestinas con el propósito de suministrar energía sin que esta sea facturada por la empresa eléctrica, lo que resulta en pérdidas financieras, a diferencia de las pérdidas técnicas que estas pueden ser evitadas [17].

Algunas de las causas de pérdidas de energía no técnicas según [18] son:

- Consumo de usuarios no suscriptores o contrabando
- Lectura
- Facturación de las empresas
- Errores en los equipos de medición
- Comportamiento fraudulento de los usuarios

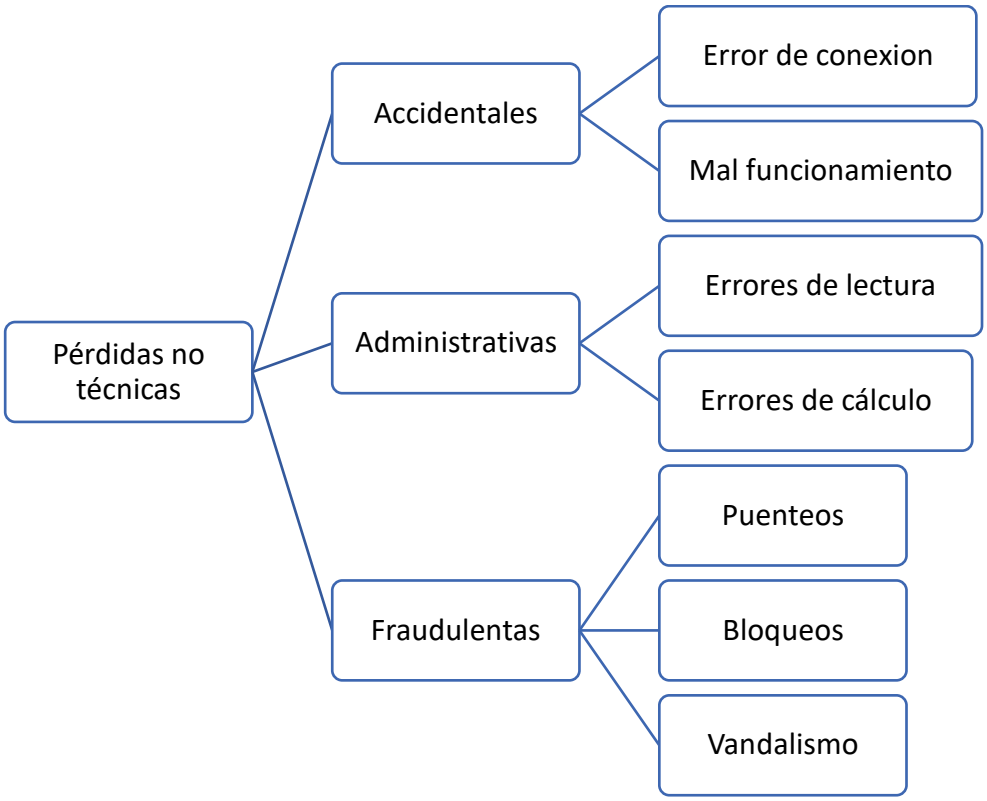


Figura 3 Pérdidas no técnicas

2.1.4.2 Pérdidas técnicas

Las pérdidas técnicas se refieren a la energía que se disipa durante la transmisión en el sistema de distribución, debido al aumento natural de temperatura en los conductores utilizados para transportar la electricidad desde las plantas generadoras [19]. Estas pérdidas se manifiestan en varios componentes de la red, como las líneas de subtransmisión, subestaciones, transformadores, redes, acometidas y sistemas de medición. Aunque resulta imposible eliminar completamente estas pérdidas de energía, es factible reducirlas mediante la implementación de mejoras continuas en el sistema de distribución [19].

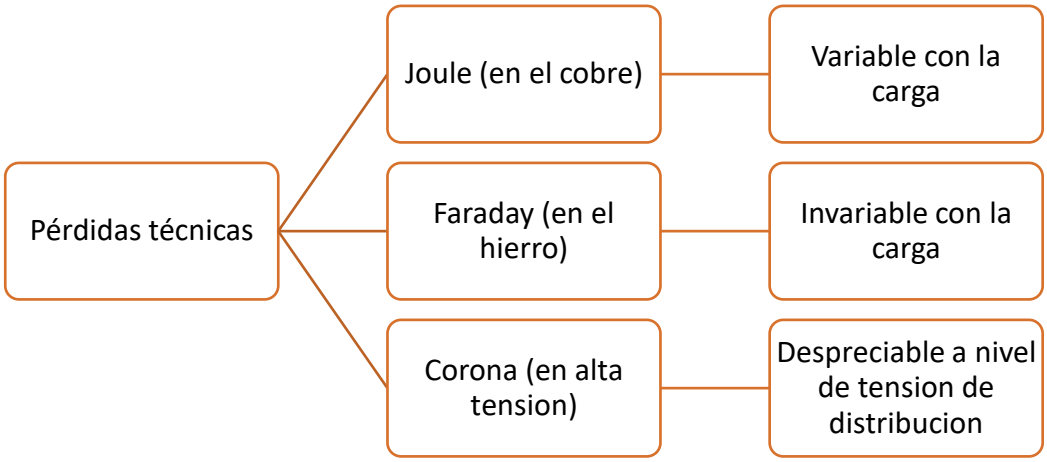


Figura 4 Pérdidas técnicas [19]

2.1.4.3 Causas de las pérdidas técnicas de energía

Efecto Joule

Se da por el paso de una corriente eléctrica por medio de un material que presente resistencia eléctrica la cual ira aumentando según la intensidad aplicada, y al mismo tiempo se disipará potencia en forma de calor. Las pérdidas de tensión y potencia hacen

que se dé lugar a un calentamiento del conductor, y esto a su vez provoca una pérdida de energía eléctrica, misma que se transforma en calor [18].

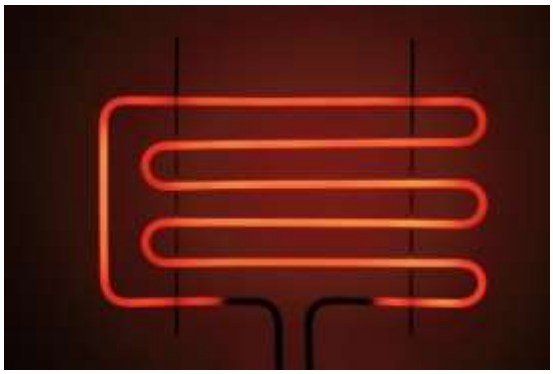


Figura 5 Efecto Joule[20]

Efecto corona

El fenómeno conocido como "efecto corona" ocurre en las líneas de transporte y distribución de energía eléctrica y provoca la pérdida de energía y daños en el sistema eléctrico[21].

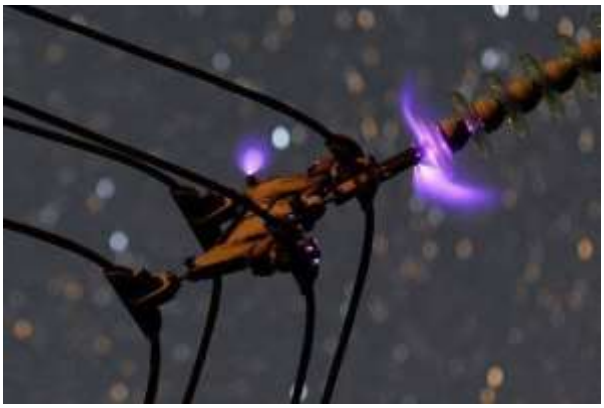


Figura 6 Efecto corona [22]

Pérdidas de cobre

Las pérdidas de cobre suelen ser el resultado de la generación de calor debido a la resistencia en los devanados al circular la corriente de carga del transformador, provocada por la inducción del flujo disperso. [23].

Pérdidas en redes secundarias

Las pérdidas técnicas en los circuitos secundarios se originan debido al consumo de energía por parte de los usuarios finales, así como por el alumbrado público presente en estos circuitos [24].

Pérdidas en alumbrado público

Estas pérdidas son consistentes a lo largo del tiempo y varían dependiendo del tipo y potencia de la luminaria utilizada en el sistema de distribución de energía eléctrica [24].

2.1.5 Estrategias para la reducción de pérdidas de energía eléctrica en los alimentadores primarios

Para disminuir las pérdidas de energía eléctrica según Cañar [25] en los alimentadores existen varios métodos tales como:

- Cambio de calibre de conductores
- Reguladores de voltaje
- Ubicación de capacitores

2.1.5.1 Cambio de calibre de conductores

La opción de sustituir el conductor se plantea cuando hay una demanda que supera la capacidad de la red para la cual fue diseñada, con el objetivo de liberar la saturación de redes, al incrementar el calibre del conductor en los tramos que tienen un calentamiento excesivo, se reduce las pérdidas de energía eléctrica.[25].

2.1.5.2 Instalación de reguladores de voltaje

Una opción para mejorar los problemas relacionados con el bajo o alto voltaje en la red es reducir las pérdidas en el sistema, colocando reguladores de voltaje de manera estratégica a lo largo de los alimentadores de la red de distribución[26].

Un regulador de tensión es un dispositivo que se asemeja a un autotransformador y que tiene la capacidad de ajustar el voltaje suministrado. Este dispositivo cuenta con taps en uno de sus devanados, lo que permite variar el nivel de voltaje de salida según sea necesario. Además, el regulador de tensión está diseñado para poder ser utilizado mientras hay carga eléctrica presente en el sistema [26].

2.1.5.3 Ubicación de capacitores

La ubicación de capacitores favorece a las empresas distribuidoras ya que al implementar este método se puede minimizar las pérdidas de energía eléctrica [27].

Los capacitores son utilizados para mejorar el factor de potencia, regular el voltaje en el alimentador, y disminuir las pérdidas de energía [28].

Capacitores en Serie

Son usados principalmente para reducir la componente inductiva de la impedancia que surgen de las líneas de los consumidores finales. El nivel de tensión en el que son usados es alto, como en el sistema de transmisión ya que la reactancia cuenta con valores bastante altos en este punto. Este tipo de capacitores no son muy usados en los sistemas de distribución ya que se puede presentar las siguientes características: transitorios de la tensión, ferro-resonancia en transformadores cercanos, resonancia sub síncrona en

arranque de motores y la difícil elección en el sistema de protecciones debido a las corrientes de falla del sistema[29].

Capacitores en paralelo

Los capacitores en paralelo son ampliamente utilizados en el sistema de distribución de energía. Su función es suministrar VARs (voltamperios reactivos) desde el punto de instalación hasta la subestación, lo que mejora el factor de potencia al reducir la componente reactiva de la corriente. Esta reducción tiene varios beneficios, como la disminución de pérdidas, la liberación de capacidad en conductores y transformadores, y también ayuda a restablecer el perfil de tensión adecuado [29].

Capacitores fijos

Los capacitores fijos se encuentran conectados de manera permanente en la red, inyectando reactivos con base en su capacidad nominal. Se pueden agrupar y formar bancos trifásicos, lo cual significa bajos costos por kvar instalado[28].

Capacitores des conectables

Los capacitores des conectables tienen la capacidad de ajustarse para operar según el factor de potencia, el voltaje, la corriente y la potencia reactiva. Estos equipos pueden suministrar potencia reactiva a la red de distribución en función de las variaciones de carga, teniendo en cuenta los parámetros de la red [28].

2.1.5.4 Conexión de capacitores en redes de distribución

La estructura de banco de capacitores puede estar constituida de varias unidades de potencias considerables con un rango de 50 a 20 kvar enlazados para permitir formar el total de la capacidad a entregar por parte del banco. La tensión nominal a la que se

someterá los capacitores para su trabajo determina la cantidad de grupos series que se ubicará en cada fase de un banco. las conexiones que pueden tener un banco de capacitores son las siguientes[9]:

- Conexión delta.
- Conexión estrella aterrizado o flotante.
- Conexión estrella doble.

Conexión delta

Esta conexión se emplea específicamente si se tiene una tensión de línea a línea en el sistema de distribución con porcentaje bajo, por ende, la capacidad de los capacitores serán del mismo rango que la tensión nominal del sistema. Para garantizar la correcta coordinación del banco de capacitores con el sistema se debe mantener el sistema en delta [29].

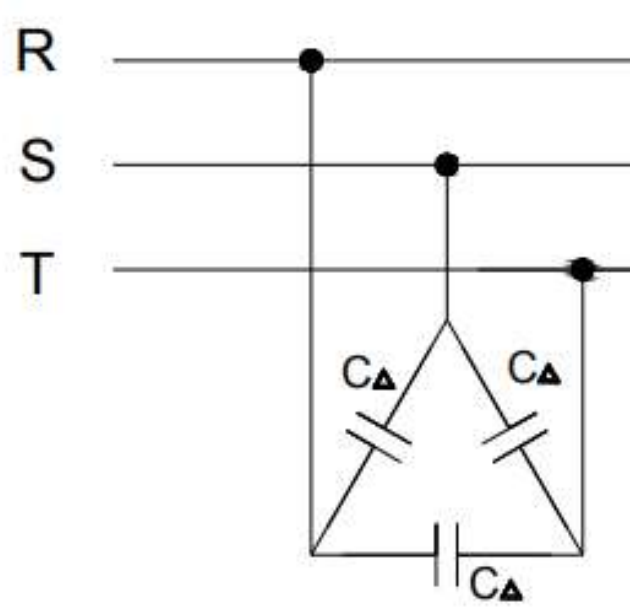


Figura 7 Conexión delta [9]

Capacitores conectados en estrella.

Estas conexiones se la emplean comúnmente en los bancos de capacitores que se instalara en el sistema de distribución, teniendo la capacidad de conectarse a sistemas ya sea de media y alta tensión facilitando la estabilización del sistema permitiendo la optimización en su funcionamiento. También permite reducir el aislamiento por fase controlando la presencia de altas corrientes de cortocircuito, es indispensable que en esta conexión los capacitores se conecten con el neutro a tierra para asegurar la poca circulación de corriente de falla. En la figura 3.3 se muestra el diagrama de conexión [29].

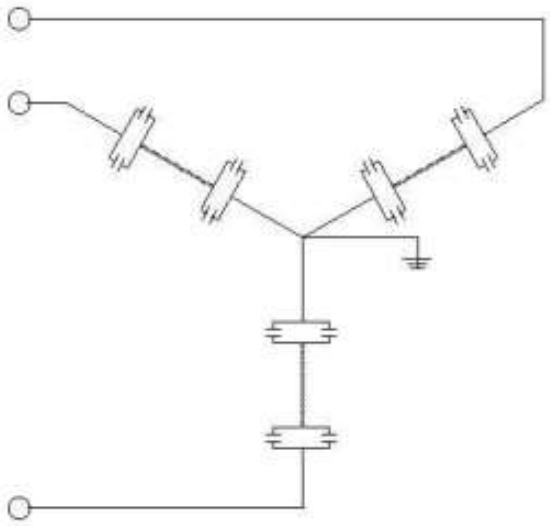


Figura 8 Capacitores conectados en estrella [9]

Conexión de banco de capacitores en estrella flotante.

Esta conexión se utiliza en sistemas donde se presentan fallas concurrentes. En este caso, los capacitores generan un desequilibrio que puede resultar en un aumento significativo del potencial en el neutro, lo que directamente limita la impedancia a la corriente en las otras fases del sistema. Esta configuración es especialmente adecuada para instalarse en alimentadores primarios que experimentan frecuentes fallas de cortocircuito, ya que

permite controlar el excesivo porcentaje de corriente que se genera durante estos fenómenos [29].

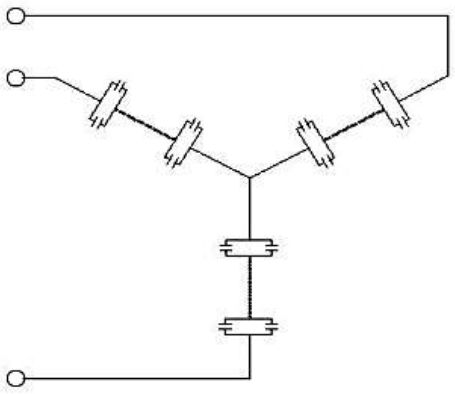


Figura 9 Conexión de banco de capacitores en estrella flotante [9].

Capacitores conectados en doble estrella.

Son empleados cuando su configuración en paralelo excede el valor de 3100kvar o la cantidad de dispositivos por grupo en paralelo se encuentran dentro de los limites se recomienda dividir el grupo de capacitores en dos etapas conectadas en estrella, esta división brinda dos secciones las cuales se tiene que parecer para igualar su potencial o llevarlo a cero. Las configuraciones antes señaladas tienen neutro aterrizados conectados en forma directas en una conexión común la cual a su vez se encarga a unir esta conexión a tierra previniendo futuro balance en el neutro [29].

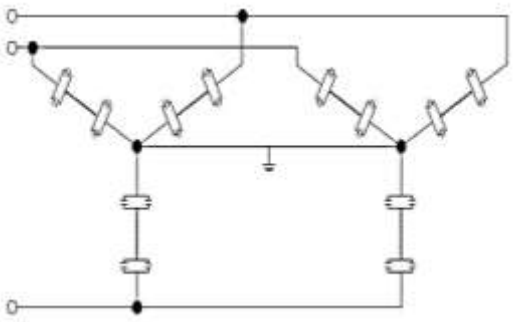


Figura 10 Banco de capacitores conectados en doble estrella [9]

2.1.6 Elementos a tener en cuenta para la ubicación de capacitores en los alimentadores primarios

2.1.6.1 Factor de potencia

El factor de potencia representa la relación entre la potencia activa y la potencia aparente, expresada en un valor comprendido entre 0 y 1. Cuando este valor se acerca a la unidad, indica que la potencia absorbida de la red se convierte eficientemente en trabajo útil [30].

2.1.6.2 Demanda

La demanda es una medida que representa el nivel promedio de carga durante un período específico, expresada en unidades como kilovatios, kilo vares, kilo voltamperios o amperios. Habitualmente, se promedia la carga en intervalos de tiempo de 15 minutos [31].

2.1.6.3 Demanda máxima

Identifica la demanda más elevada registrada en un determinado periodo de tiempo, a menudo se toma la demanda máxima diaria como punto de referencia ya que el comportamiento de consumo suele ser consistente en los días laborables de la semana [31].

2.1.7 Impacto en pérdidas técnicas

Evaluar el efecto de la ubicación de capacitores en la reducción de pérdidas técnicas en el sistema de distribución eléctrica.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente capítulo, se realiza la descripción del alimentador primario San Agustín No. 5 de la Empresa Eléctrica Regional Norte S.A. el cual es objeto de estudio para determinar la ubicación de capacitores con el fin de reducir las pérdidas técnicas de energía eléctrica

Además, de detallar la metodología utilizada, los procedimientos seguidos, las ecuaciones empleadas, los equipos, softwares y materiales utilizados para llevar a cabo la ubicación de capacitores en el alimentador.

3.1 Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo de grado se implementaron varias metodologías con el fin de lograr los objetivos establecidos

Se utilizó la metodología de investigación documental para recopilar información de la red primaria y los transformadores de distribución del Alimentador San Agustín No. 5, empleando la base de datos de ArcGIS, Esto permitió comprender mejor las características y condiciones operativas del sistema.

Se implementó una metodología de investigación de campo para verificar la información y datos suministrados por EMELNORTE. A través de visitas técnicas en el alimentador, en donde se utilizó el verificador de fases y la aplicación Field Maps

En el desarrollo de la modelación en el software CYME para la red de bajo voltaje, se empleó una metodología de modelado y simulación, que permitió realizar la representación precisa de la red, que está compuesta por transformadores, acometidas y

alumbrado público. Este enfoque permitió la generación de un reporte sumario que incluyó datos clave sobre las pérdidas del alimentador.

Además, se empleó una metodología imperativa para la ubicación de capacitores donde se empleó el módulo de ubicación de capacitores para determinar los lugares ideales para reducir las pérdidas obtenidas.

En la etapa final del estudio, se utilizó la metodología cuantitativa para calcular las pérdidas de energía utilizando el método Olade del Ing. Mentor Poveda, Luego, se realizó una comparación de los 5 resultados obtenidos con la ubicación de capacitores y sin ellos, con el fin de determinar la opción óptima para el estudio.

3.2 Diseño de la investigación materiales, equipos y software

Durante el desarrollo de este trabajo, se tuvo en cuenta una variedad de recursos, que fueron materiales, equipos, software, base de datos, así como ecuaciones para el cálculo de las pérdidas técnicas de energía eléctrica. Estos recursos se encuentran detallados en la Tabla 1 que se presenta a continuación.

Tabla 1

Materiales, equipos y software empleados en la investigación

Materiales de campo	Equipos	Software
Pértiga	Detector de fases SPI-III	CYMDIST
		CYME
		ArcGIS Field Maps

3.3 Descripción del lugar de estudio

El alimentador San Agustín No. 5 se encuentra localizado en la provincia de Imbabura en la ciudad de Ibarra entre la avenida Ricardo Sánchez y avenida Eugenio Espejo en la subestación San Agustín perteneciente a EMELNORTE.

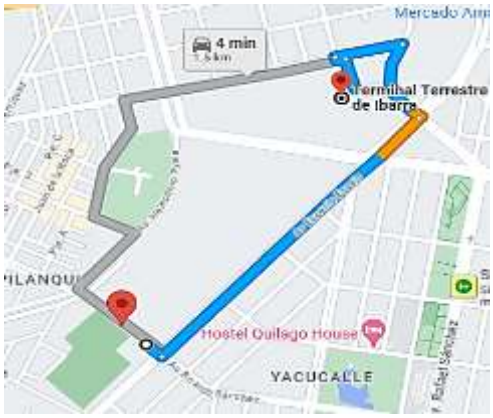


Figura 11 Ubicación del alimentador San Agustín No. 5

En el diagrama unifilar se puede apreciar a la subestación San Agustín que opera con un transformador de 69/13,8 kV y una potencia nominal de 10 MVA donde se encuentra conectado el alimentador San Agustín No. 5

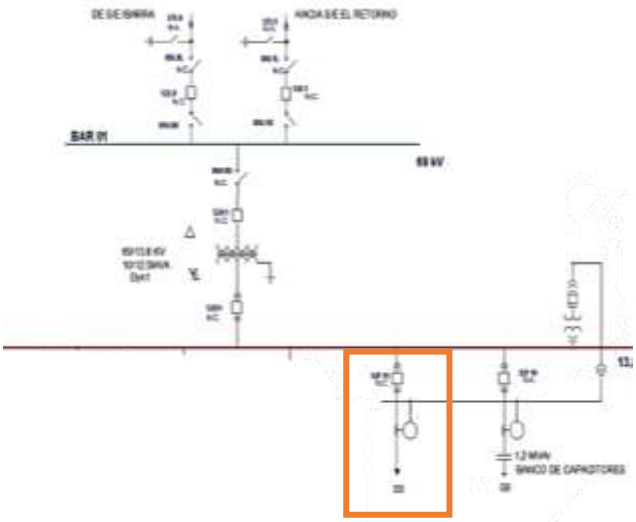


Figura 12 Diagrama unifilar del alimentador San Agustín No. 5

El alimentador suministra de energía a varios sectores de Ibarra entre estos se incluyen Pilanqui, Parque Ciudad Blanca, Parroquia San Francisco, Ciudadela Almeida Galarraga, y redondel de la Madre

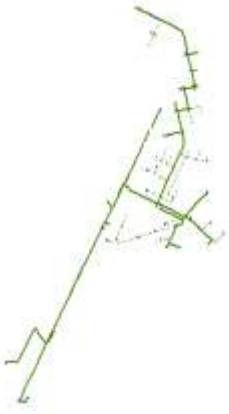


Figura 13 Topología del alimentador San Agustín No. 5

3.3.1 Especificaciones técnicas de elementos del alimentador

Las especificaciones técnicas del alimentador San Agustín No. 5 fueron proporcionadas por el área de GIS ofreciendo información detallada sobre los componentes del alimentador.

En la Tabla 2, se presentan especificaciones técnicas básicas del alimentador, como el código, número de acometidas, medidores, luminarias y usuarios

Tabla 2

Especificaciones del alimentador San Agustín No. 5

Código alimentador	Nro. Acometidas Aéreas	Nro. Acometidas Subterráneas	Nro. Medidores	Nro. Luminarias	Nro. Usuarios
1300070T05	934	38	1655	1095	1609

En la Tabla 3 se observa la longitud ramal potencia y transformadores del alimentador estudiado

Tabla 3

Especificaciones técnicas

	Longitud ramal	**Potencia de transformadores (MVA)**	**Transformadores**
Monofásico	2,60	1,45	47
Trifásico	7.70	2,35	29

Nota. Adaptado de los datos proporcionados por el área de GIS

3.4 Ecuaciones matemáticas utilizadas

En el proceso de cálculo se utilizó diferentes ecuaciones para poder obtener las pérdidas de energía eléctrica las cuales se detallarán a continuación

3.4.1 Método Olade

En el proceso de cálculo , se empleó el método Olade del Ingeniero Mentor Poveda para calcular las pérdidas de energía, basándose en la demanda máxima de la carga, este método permite determinar las pérdidas en un intervalo de tiempo específico, y permite obtener las pérdidas de energía en una variedad de líneas, incluyendo las de transmisión, distribución primaria, secundaria y acometidas [32].

3.4.1.1 Pérdidas de energía

Para calcular las pérdidas de energía en el alimentador, fue necesario comenzar por obtener las pérdidas de potencia de cada intervalo a la hora de demanda máxima, la cual se obtuvo de los registros horarios. Las pérdidas de potencia se determinaron a través del

análisis del flujo de carga del alimentador, el cual fue modelado con c [1] :as como la capacidad de los transformadores de distribución, las longitudes por sección, el calibre y tipo de conductor, el espaciamiento y la ubicación de los conductores, y los kWh facturados por transformador [32].

La fórmula utilizada para el cálculo de pérdidas en potencia en cada intervalo es la siguiente:

$$\mathbf{P_{perd-i}} = \left(\frac{\mathbf{D_{Pi}} * \mathbf{fp_{máx}}}{\mathbf{D_{pmáx}} * \mathbf{fp_i}}\right)^{\mathbf{2}} * \mathbf{P_{perd-máx}}$$

Donde:

$\mathbf{P_{perd-i}}$ Potencia de pérdidas en el intervalo i (kW)

$\mathbf{P_{perd-máx}}$ Pérdida de potencia de demanda máxima

$\mathbf{D_{Pi}}$ Demanda de potencia en el intervalo i [2]

$\mathbf{D_{pmáx}}$ Demanda de potencia máxima (kW)

$\mathbf{fp_{máx}}$ Factor de potencia máximo

$\mathbf{fp_i}$ Factor de potencia en el intervalo i

Al obtener la potencia de energía en cada intervalo se puede obtener las pérdidas de energía mediante la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{Energía_{pérd-t}} = \sum_{i=0}^{i=n} \mathbf{P_{perd-i}} * \Delta \boldsymbol{t}$$

Donde:

$Energía_{pérd-t}$: Pérdida de energía total (kWh)

P_{perd-i}: Potencia de pérdidas en el intervalo i (kW)

Δt: Intervalo de demanda (duración)

3.5 Procedimiento integral

Para realizar la ubicación de capacitores en el alimentador, se requirió realizar análisis de la red eléctrica, así como la aplicación de pasos específicos que abarcaron desde la obtención y verificación de información técnica, hasta la colocación estratégica de capacitores en el alimentador. A continuación, se describen en detalle los pasos que guiaron el desarrollo de este estudio.

3.5.1 Recopilación de información

La información recopilada para el trabajo de grado fue suministrada por EMELNORTE dado que se necesitó datos específicos como los cuartos horarios de donde se obtuvieron datos como la demanda máxima y factores de carga del alimentador, ya que esta información es relevante para poder ejecutar el módulo de distribución de carga del software CYME.

5								
6		Dem prom=	608,83		FC	0,591218486		
7		Dem max=	1029,79		Fpérdida	0,422043054		
8					h	0,08		
9	Local Time	kVA tot	kW tot	kVAR tot	D tot	PF sig8 to	Vll ab	
12	3/2/2024 18:50:00	970,57	958,20	736,19		88,00	13720,00	
13	3/2/2024 18:55:00	978,09	969,66	744,41		88,00	13740,00	
15	3/2/2024 19:05:00	1033,01	1029,79	780,50		88,00	13740,00	
17	3/2/2024 19:15:00	987,37	967,65	742,73		88,00	13730,00	
18	3/2/2024 19:20:00	964,88	992,30	762,57		88,00	13740,00	
19	3/2/2024 19:25:00	983,67	983,98	756,45		88,00	13750,00	
20	3/2/2024 19:30:00	990,24	975,76	749,61		88,00	13760,00	
21	3/2/2024 19:35:00	982,58	967,96	743,41		88,00	13770,00	

Figura 14 Intervalos de tiempo

Además de utilizar la base de datos de ArcGIS donde se obtuvo información del número de transformadores, acometidas, alumbrado público, conductores y las fases de conexión

Para verificar la información se realizó visitas técnicas en el alimentador, en donde se utilizó el verificador de fases y la aplicación Field Maps cargada con la base de datos ArcGIS. Esta combinación permitió realizar un análisis minucioso de la red eléctrica e identificar áreas donde la información no coincidía con lo proporcionado y ser corregida por la empresa.

3.5.2 Modelación de la red de bajo voltaje

Al tener verificado los datos del alimentador se cargó la base y la red al software CYME, se procedió a crear un nuevo proyecto en donde se seleccionó el alimentador 1300070T05.

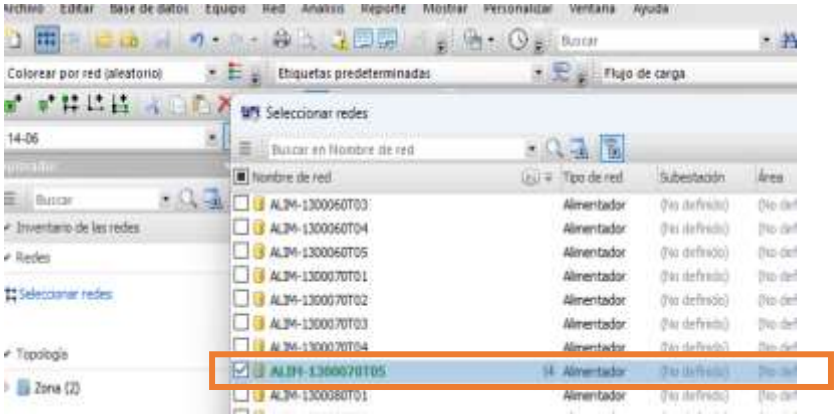


Figura 15 Códigos de los alimentadores

Figura 16 Alimentador San Agustín No. 5

Se selecciono la cabecera del alimentador para ingresar los datos reales obtenidos de los cuartos horarios, donde se desplego una ventanilla con varias pestañas

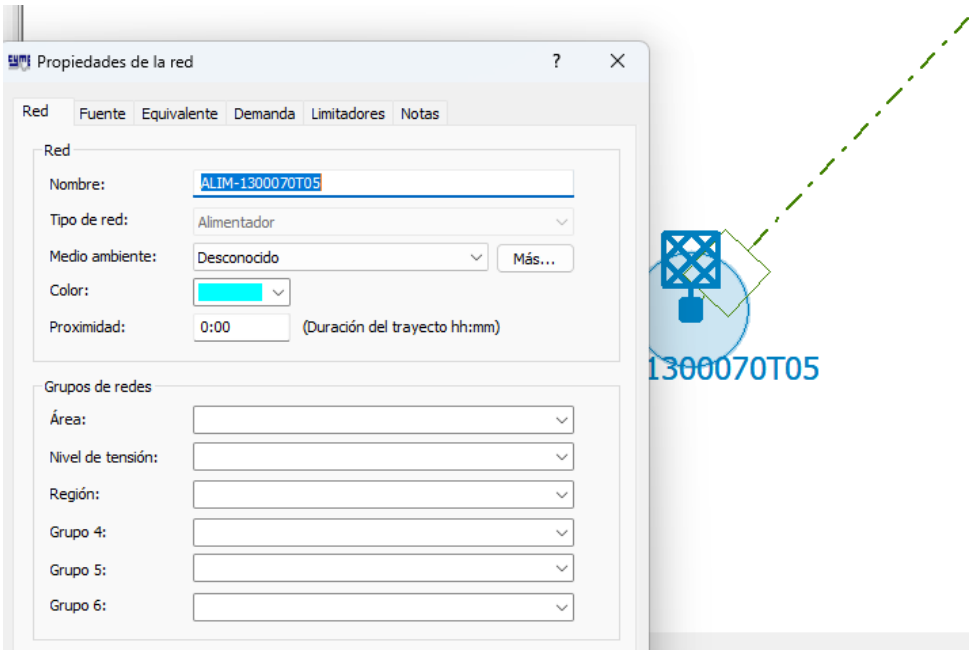


Figura 17 Propiedades de la red

En fuente se ingresó el tipo de fuente “equivalente definido por el usuario” permitiendo ingresar los datos reales del alimentador.

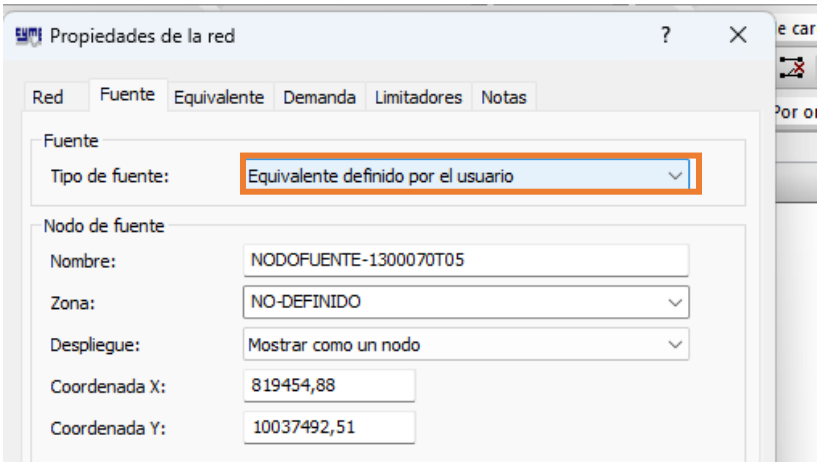


Figura 18 Propiedades de la red- fuente

En equivalente si ingreso el voltaje nominal, se desactivo el equilibrado para ingresar el voltaje por unidad de cada fase.

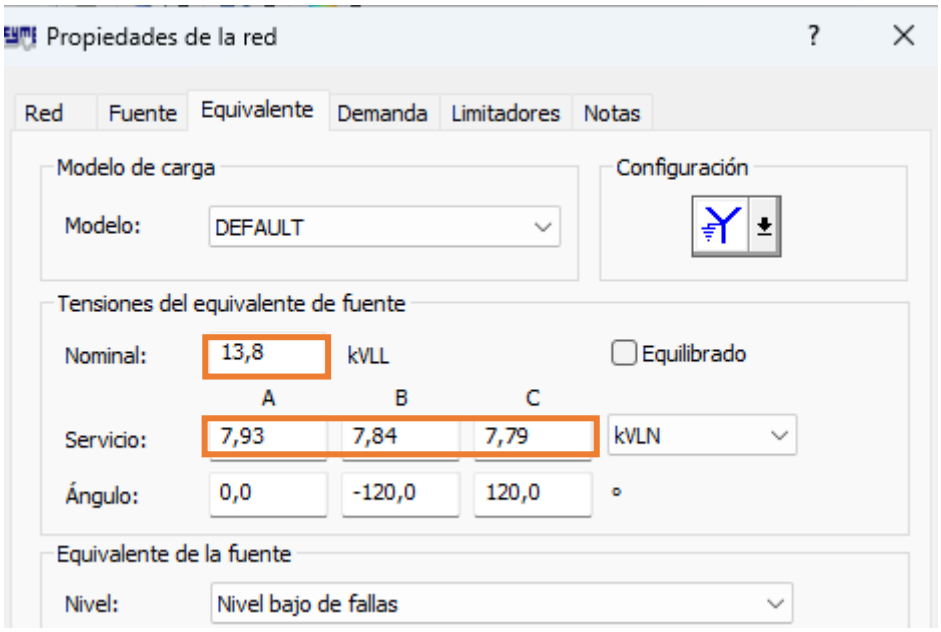


Figura 19 Tensiones equivalentes de la fuente

En demanda se colocó los datos de las corrientes y el factor de potencia de cada línea fase

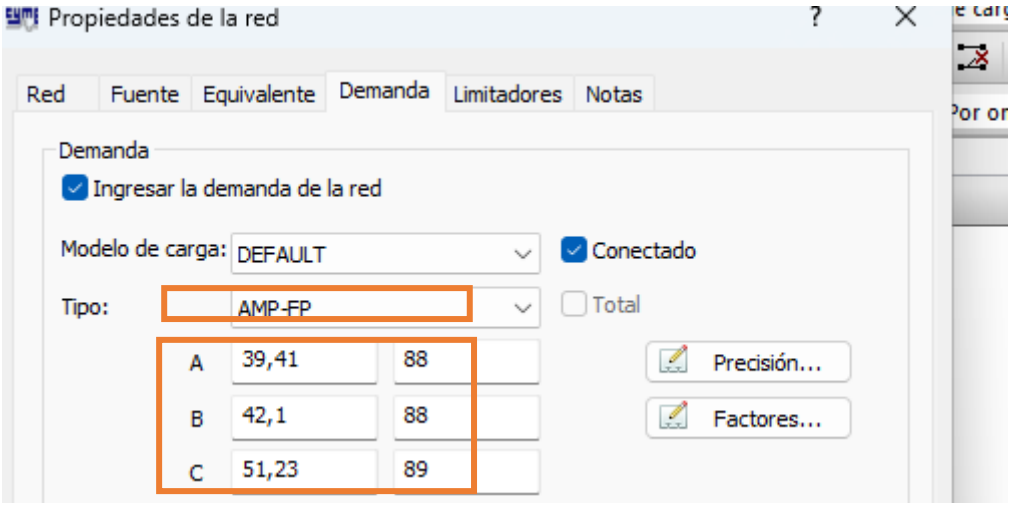


Figura 20 Demanda de la red

Al dar clic en aceptar se finaliza el ingreso de datos extraídos de los cuartos horarios.

Para modelar la red de bajo primero se seleccionó un transformador de distribución se revisó la información importante como la fase, zona, número y potencia; dado que esta información es de suma importante para poder localizarlos en el ArcGIS

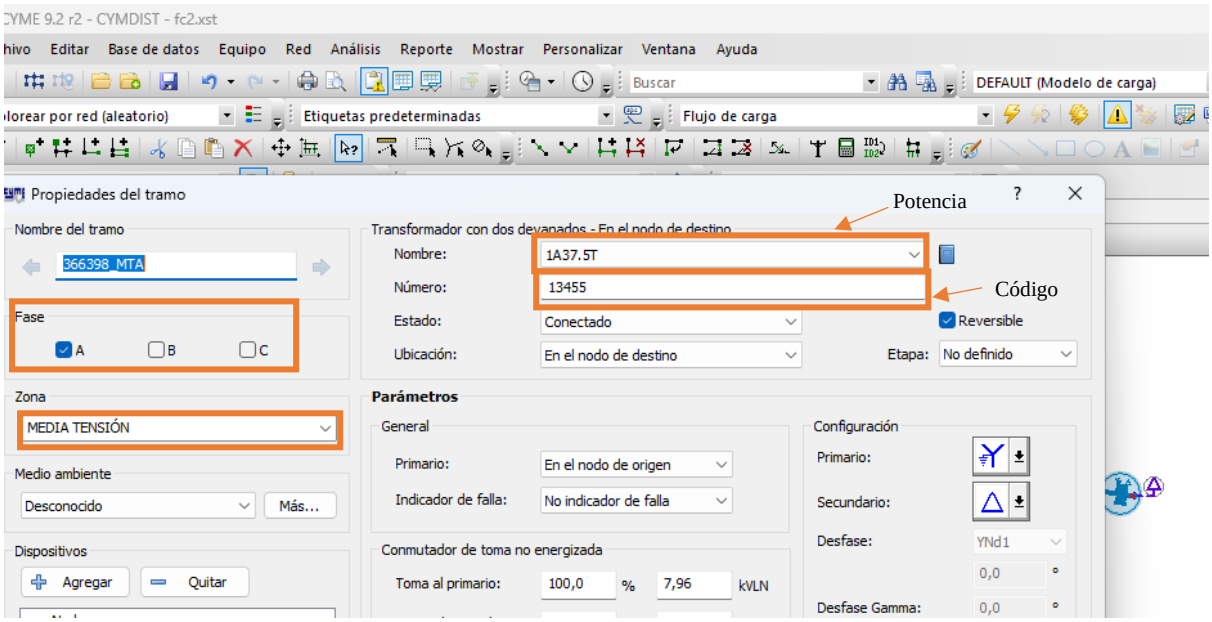


Figura 21 Características del transformador

Se selecciono el nodo que unía el fusible al transformador y se procedió a desconectarlo.

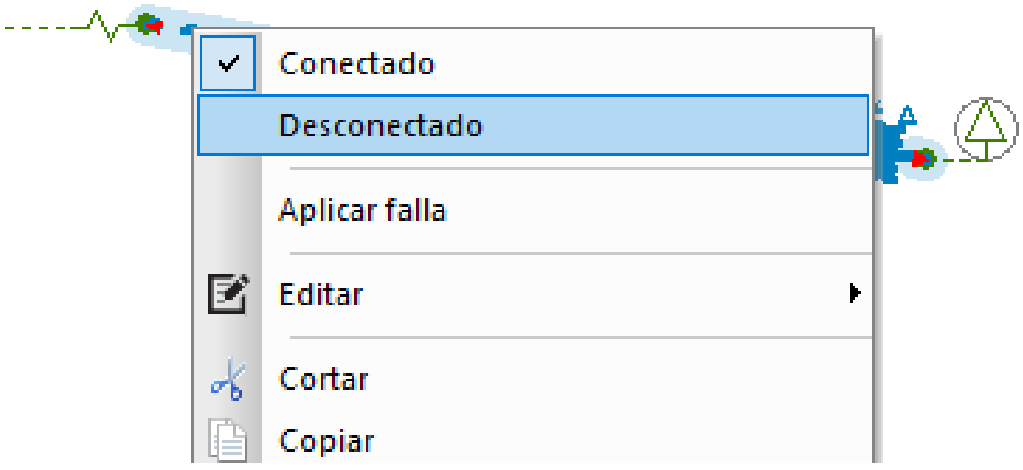


Figura 22 Fusible en desconexión

En el nodo se crea una red para la vista imbricada en donde tienes tres apartados en el apartado de “Red” se coloca el nombre que tiene una nomenclatura que está compuesta de la potencia del transformador, las iniciales de alimentador y código del transformador; en tipo de red se selecciona el tipo de red secundaria.

En el apartado de “Grupo de redes”, se especifica el área como EmelNorte, el nivel de tensión (120/240 para monofásico y 127/220 para trifásico), y la región Centro

Por último, en el apartado de “Despliegue de la red”, se configura la visualización para mostrar dentro de una vista imbricada y se selecciona el estilo de vista geográficamente referenciada.

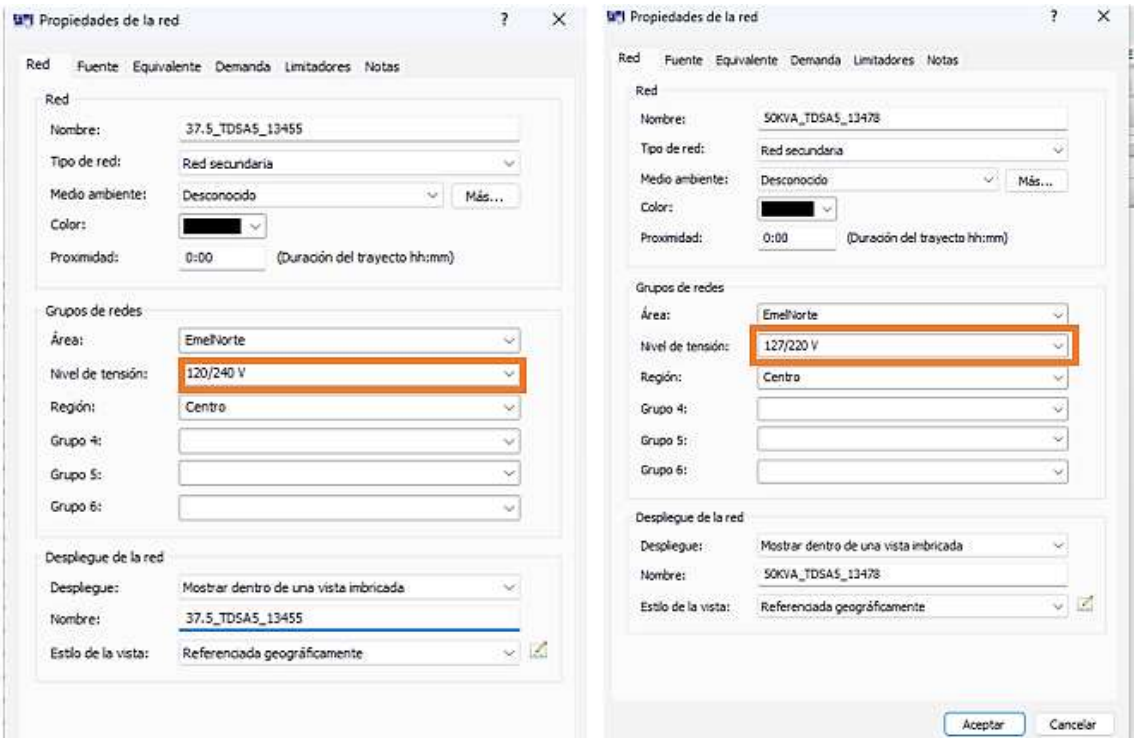


Figura 23 Propiedades de la red de un transformador monofásicos y transformador trifásico

Se procedio a abrir la vista imbrincada y se conecto un transformador donde se coloco la informacion antes obtenida como la fase, zona y potencia

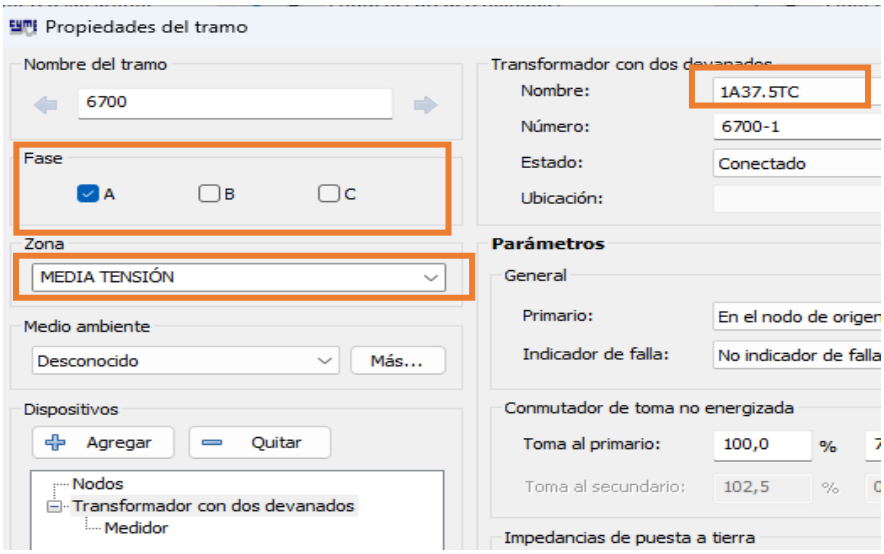


Figura 24 Propiedades de un transformador monofásico

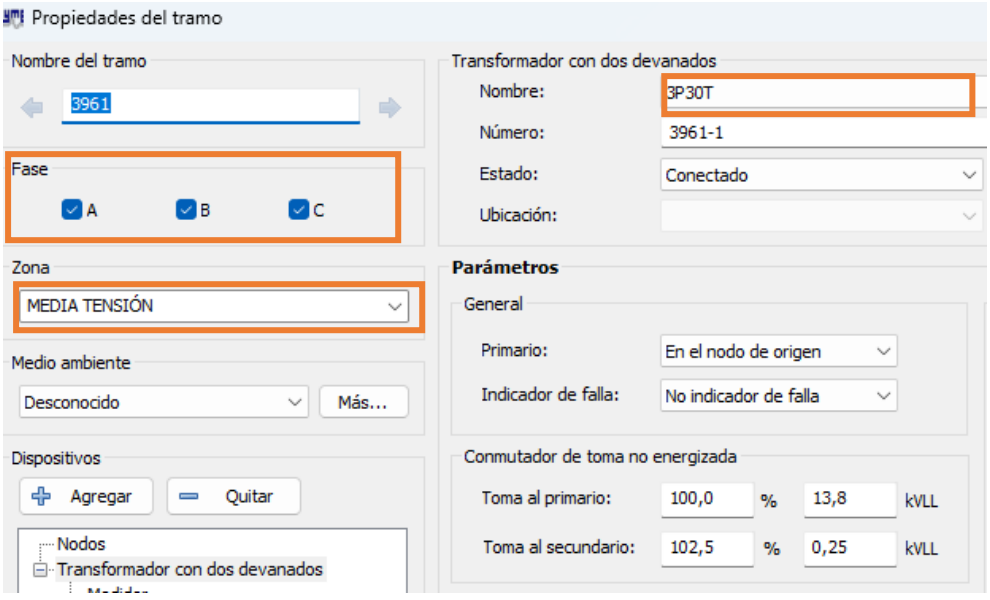


Figura 25 Propiedades de un transformador trifásico

En la salida del transformador, se colocó una red para la red secundaria. En el apartado de “Red” se introdujo el nombre RS y el código del transformador, seleccionando la red

secundaria. En el apartado de "grupo de redes" se incluyó el área de EmelNorte y finalmente, en el despliegue, se seleccionó mostrar dentro de la vista corriente.

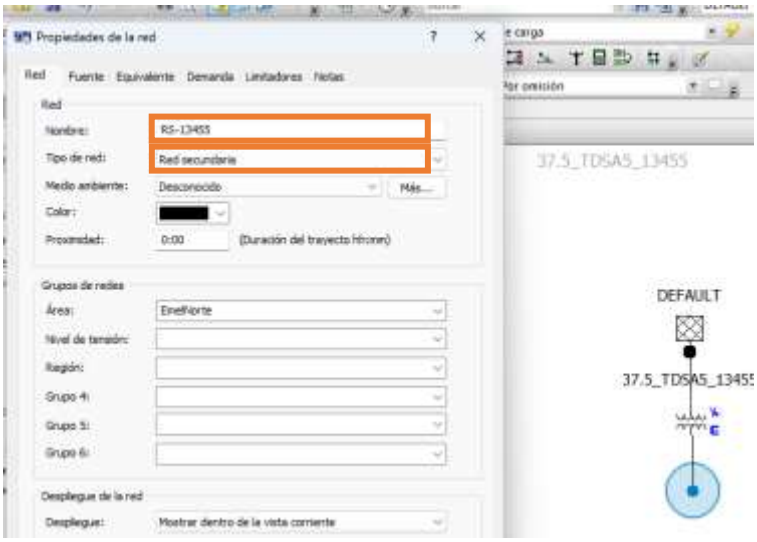


Figura 26 Propiedades de la red secundaria

Para modelar los tramos, se cargaron los SHP extraídos de ArcGIS que contenían información sobre la ubicación de los puntos de carga, transformadores de distribución, postes, y tramos aéreos y subterráneos.

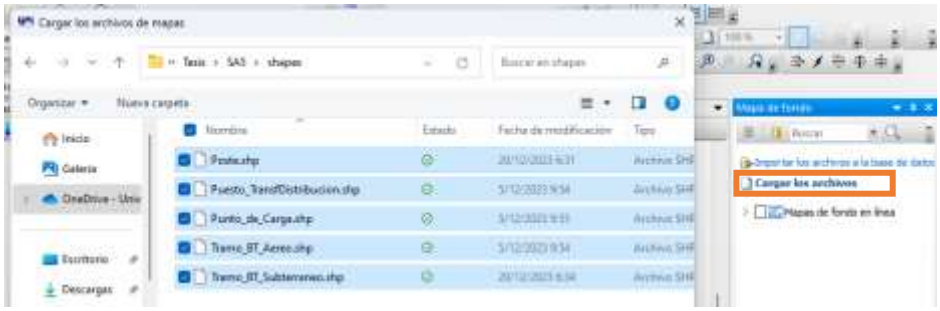


Figura 27 SHP de la red de bajo voltaje

Para modelar los tramos, se seleccionó la opción de agregar tramos, se escogió el nodo inicial y final. En la ventana emergente "Propiedades del tramo", se seleccionó la configuración por fase, luego se ingresó el código del conductor de fase, el código del

conductor neutro, la distancia, la conexión de fase y la longitud del sistema; todos estos datos fueron extraídos de ArcGIS.

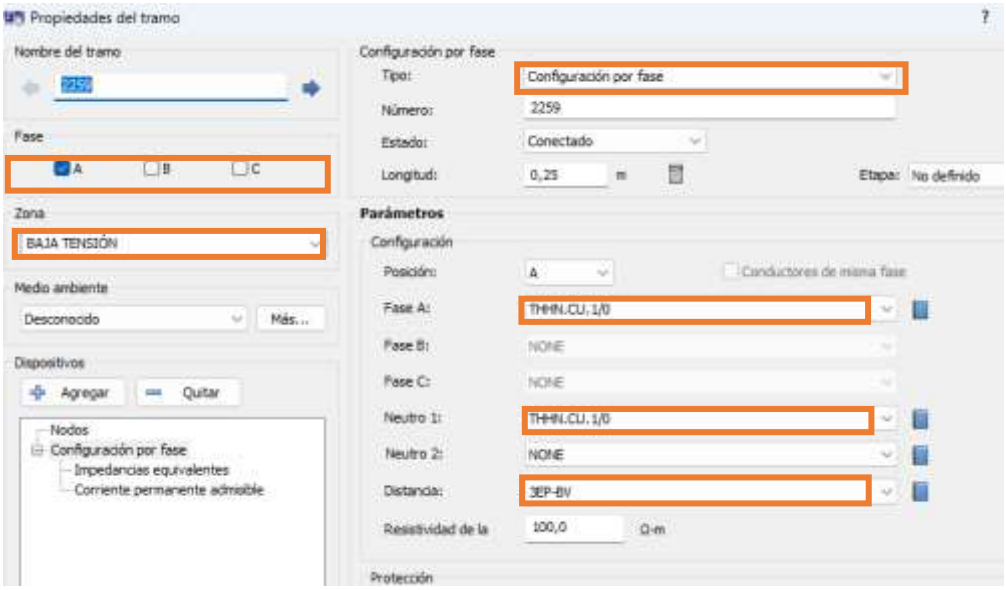


Figura 28 Datos técnicos de tramos monofásicos

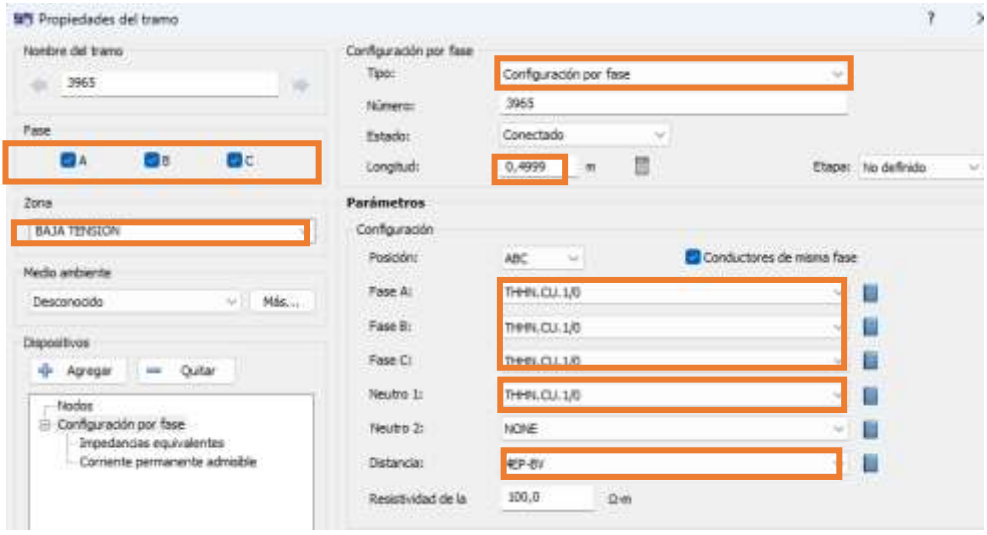


Figura 29 Datos técnicos de tramos trifásicos

En la modelación de los tramos de los puntos de carga en la ventana emergente "Propiedades del tramo", en tipo se seleccionó cable, además se ingresaron los datos

como la conexión de fase, la longitud del sistema y el nombre del cable, el cual varía dependiendo de si se va a conectar a acometidas o luminarias.

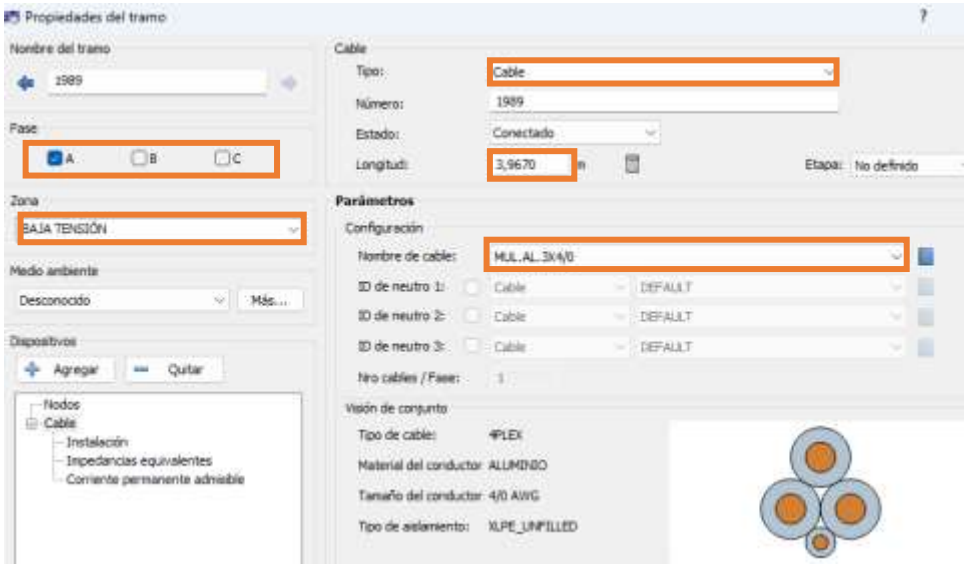


Figura 30 Datos técnicos del cable para acometidas

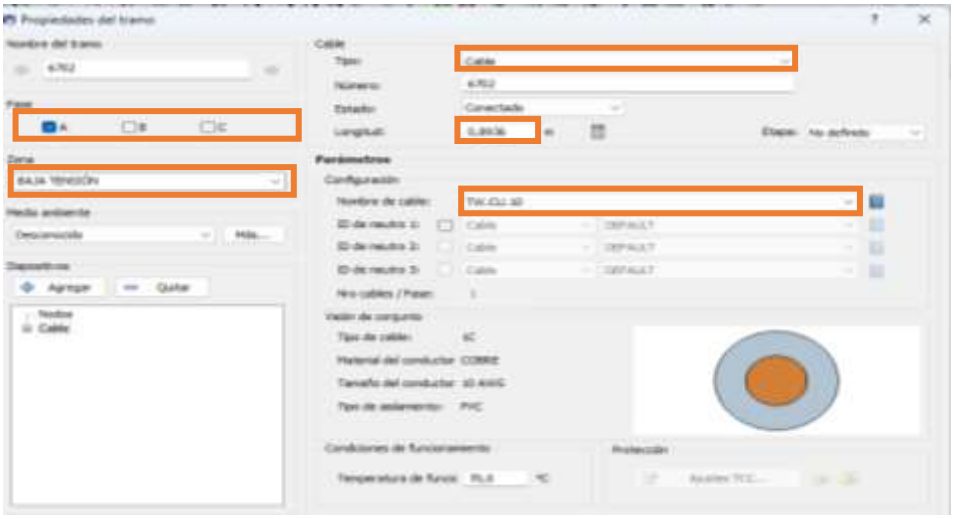


Figura 31 Datos técnicos del cable para luminarias

En la modelacion de las acometidas primero se agrego una red, esta a diferencia de las anteriores se selecciono la red de baja tension, en el nombre el codigo del usuario, en area se coloco EmelNorte, y en el despliegue mostrar dentro de la vista corriente.

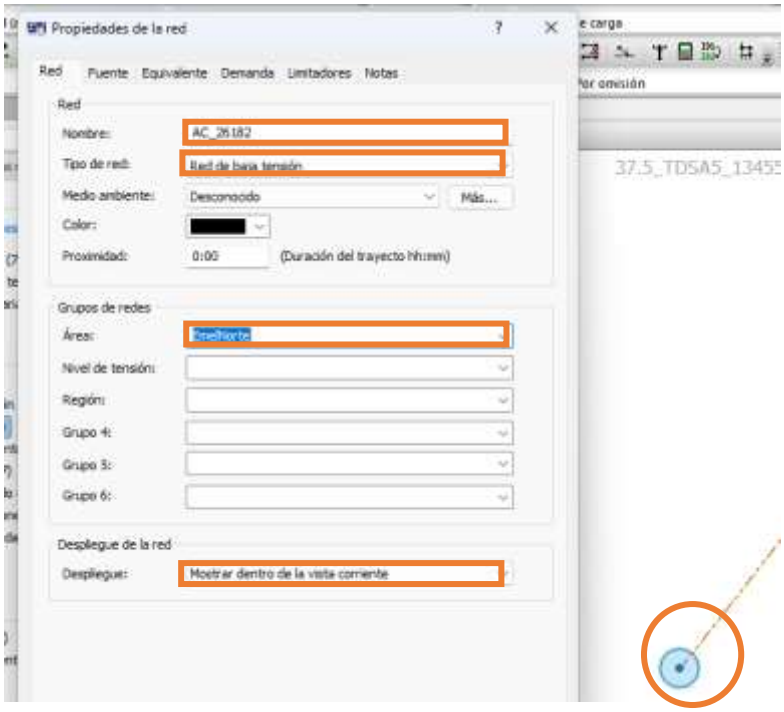


Figura 32 Datos técnicos de la red de las acometidas

Para colocar las cargas concentradas de las luminarias y puntos de carga (acometidas) se seleccionó la caja de herramientas y se arrastró la carga concentrada hacia el nodo. En el caso de ser una carga para las acometidas, se colocó encima de la red ya creada y se especificó la fase, zona y consumo.

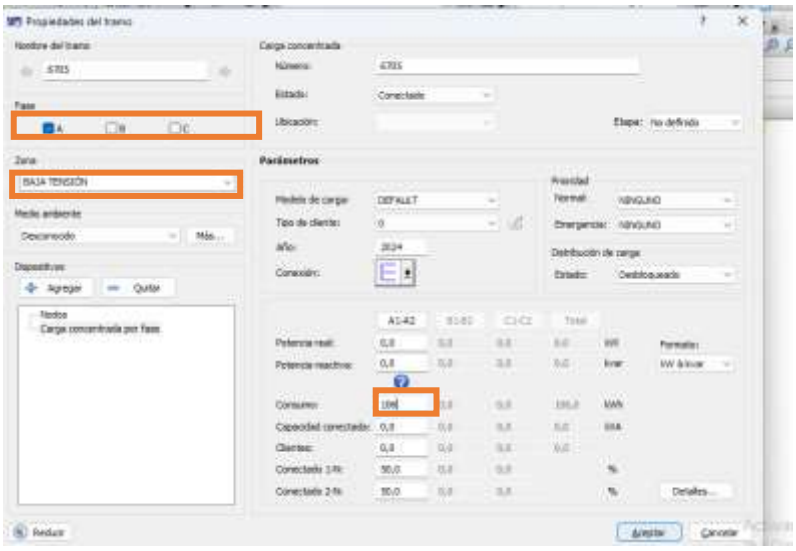


Figura 33 Datos técnicos de acometidas

Para las luminarias, se colocó la carga concentrada sobre el nodo y se modificaron las propiedades, cambiando la zona, el formato a kW y FP, la potencia real y el consumo de cada luminaria.

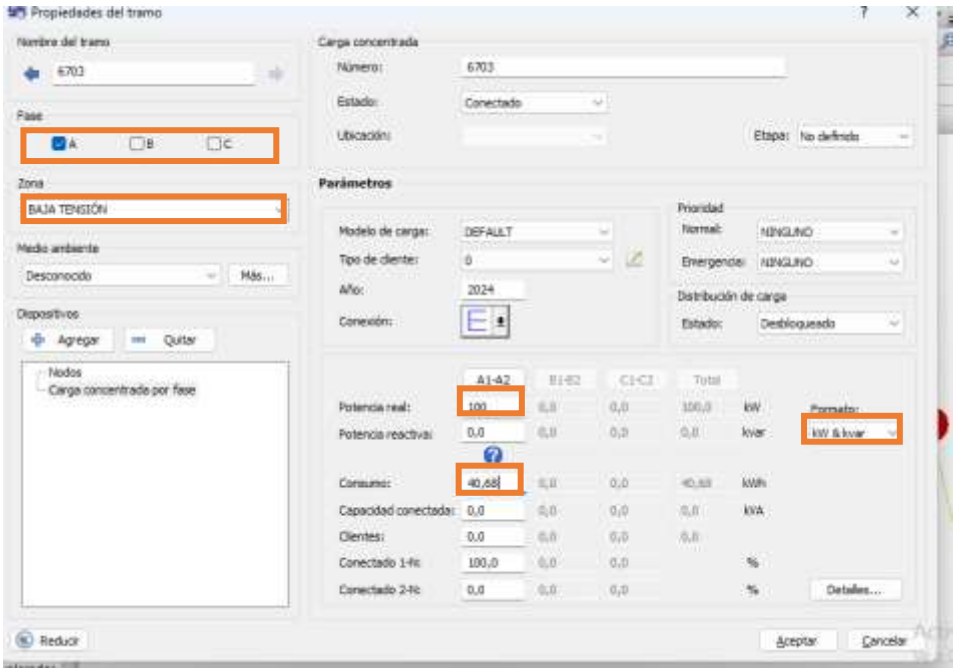


Figura 34 Datos técnicos acometidas

Una vez modelado el transformador, se procedió a conectar el alimentador a la red de bajo voltaje, seleccionando el nodo del fusible hacia la vista imbricada de cada transformador

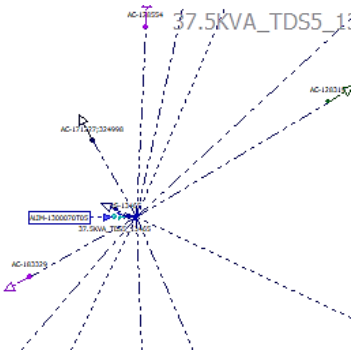


Figura 35 Conexión del alimentador a la vista imbricada

Una vez modelados todos los alimentadores, se ejecutó el módulo de distribución de carga. Se seleccionó el alimentador, la red secundaria y la red de bajo voltaje, se verificó el valor de los datos de la demanda previamente ingresados y se procedió a ejecutar.

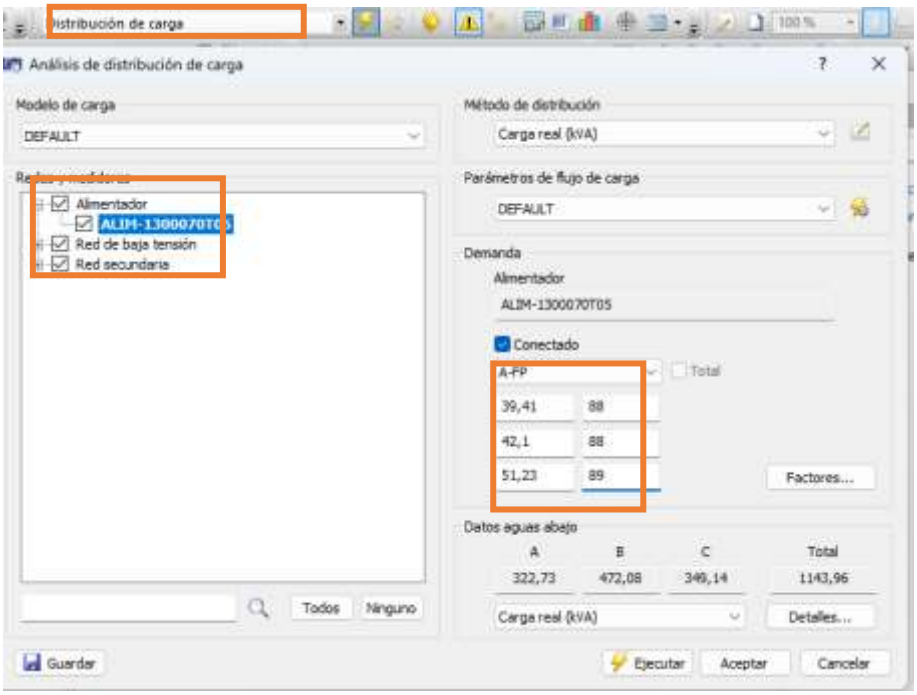


Figura 36 Distribución de carga

Se ejecutó este módulo con el fin de distribuir la potencia registrada en la cabecera del alimentador entre cada una de las cargas conectadas a él.

El módulo de flujo de carga se ejecutó para obtener el reporte sumario, ya que era muy necesario tener la información detallada de las pérdidas obtenidas del alimentador modelado y sin capacitores, a fin de poder realizar una comparativa de estos resultados con los obtenidos con la ubicación de capacitores.

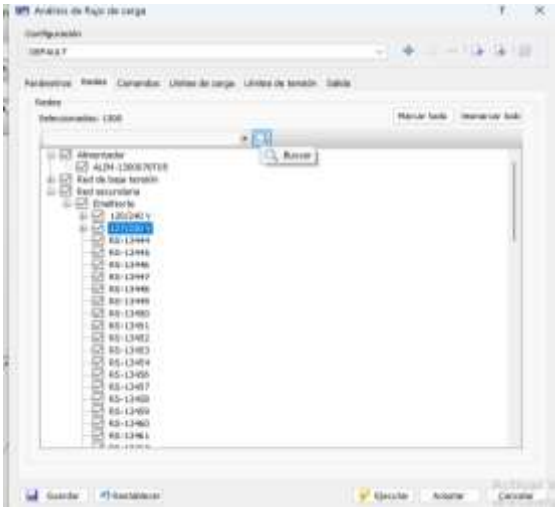


Figura 37 Reporte sumario

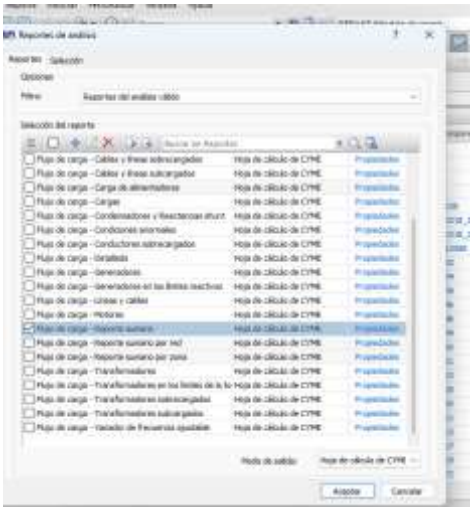


Figura 38 Flujo de carga

3.5.3 Ubicación de capacitores

Para ubicar los capacitores en el alimentador, seleccionamos el módulo de ubicación de capacitores, donde elegimos el alimentador, la red secundaria y la red de bajo voltaje. Para reducir las pérdidas, optamos por el objetivo de minimizar las pérdidas en kW, estableciendo el valor mínimo de reducción deseado.

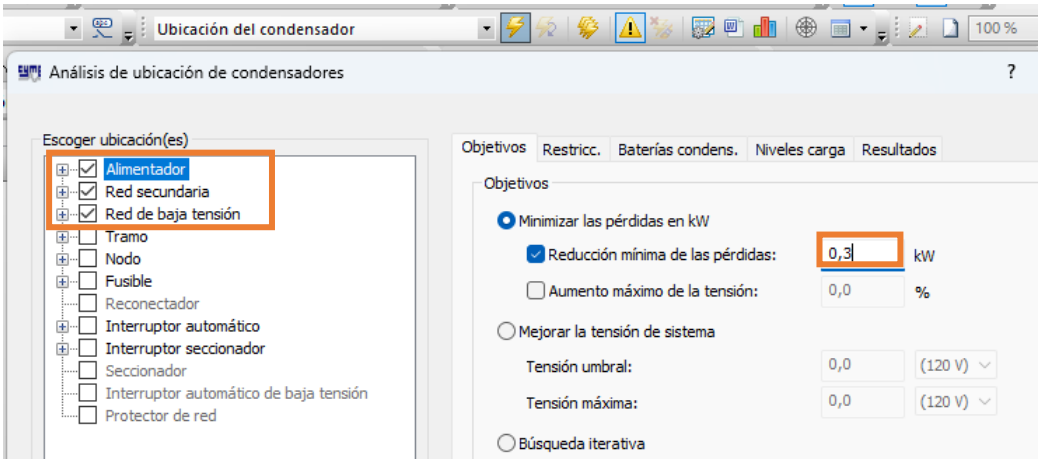


Figura 39 Módulo de ubicación de capacitores

En la pestaña de restricciones, se estableció la distancia mínima de 100 m desde la subestación en, considerando que se trata de un alimentador pequeño. Se fijó un factor de potencia de 0.99 y se ignoraron los tramos bifásicos y subterráneos en las inclusiones.

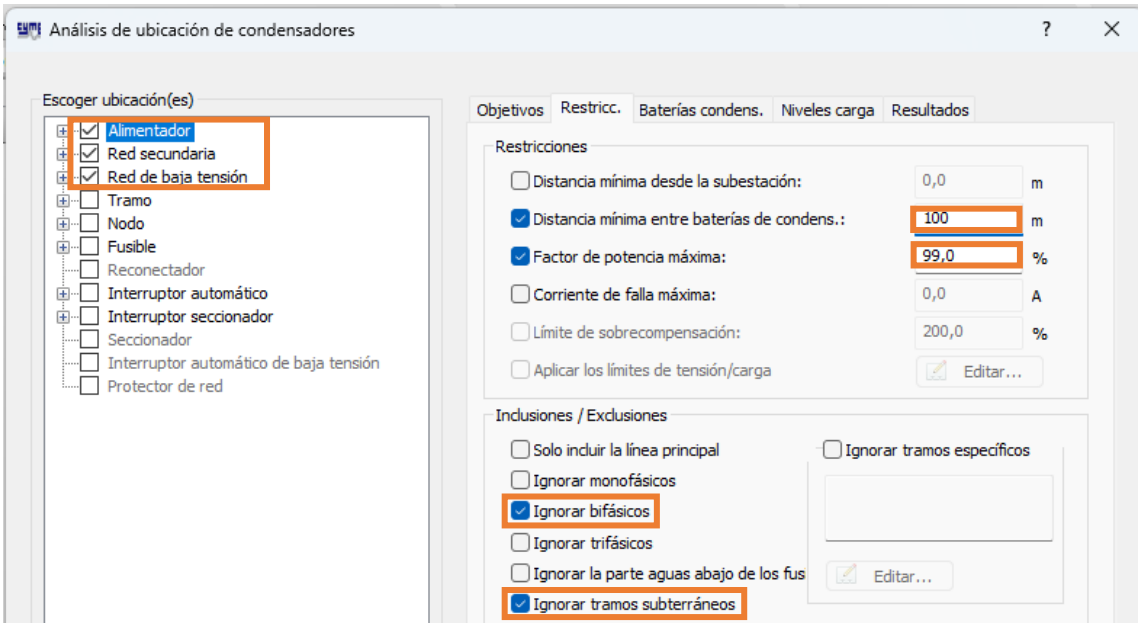


Figura 40 Restricciones y exclusiones para la ubicación del condensador

En la pestaña de baterías de condensadores, se estableció el tamaño mínimo y máximo de la batería de condensadores, junto con el número de instalaciones necesarias.

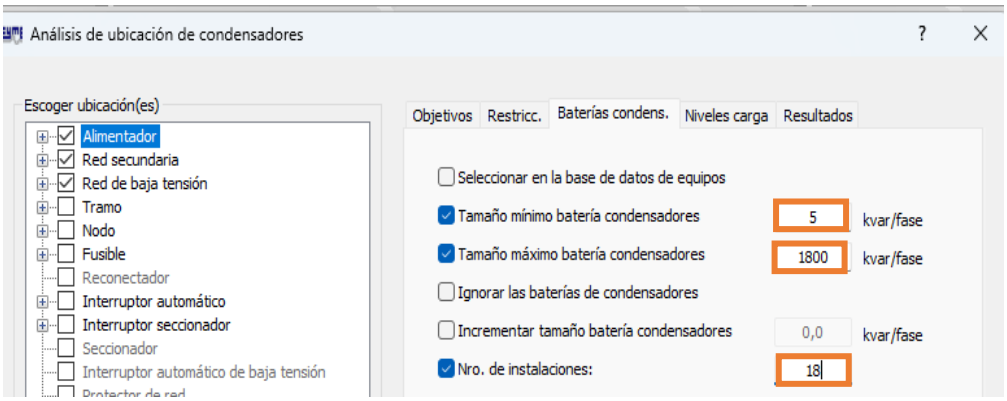


Figura 41 Tamaño de baterías

En la pestaña de niveles de carga, se establecen parámetros que ayudan a recomendar el tipo de capacitores, ya sea fijos o conmutados, considerando el tiempo en el que la carga se centra en este caso en las cargas normales. Se incluye el límite de factor de potencia y la duración de la carga.

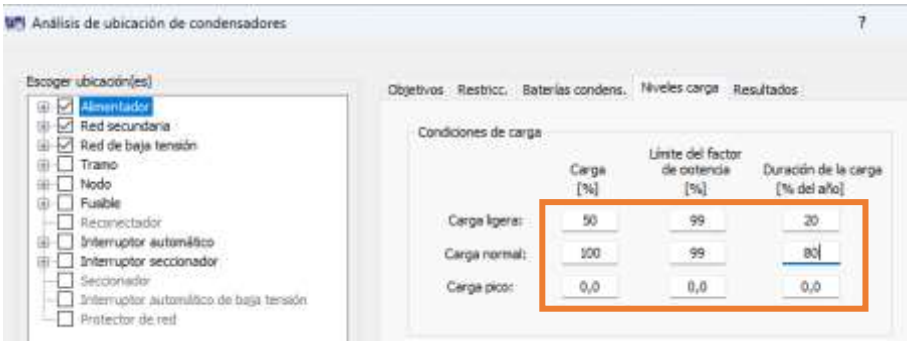


Figura 42 Condiciones de carga

Al obtener los resultados de la ubicación de capacitores, se aplicoy se los coloco en los diferentes tramos

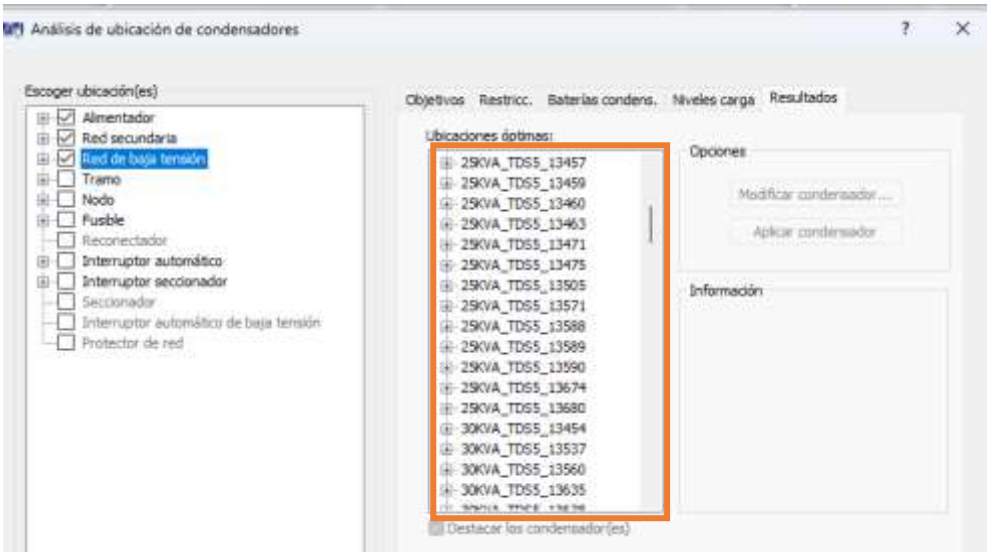


Figura 43 Resultados

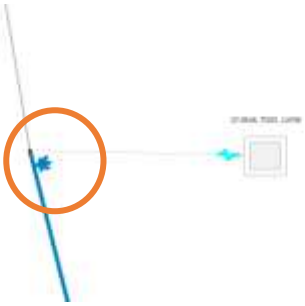


Figura 44 Ubicación de condensador

Finalmente, se lograron obtener 5 resultados que incluyen diferentes números de capacitores y ubicaciones. Tras ejecutar el análisis de flujo de carga con el propósito de observar la reducción en los valores de pérdidas, se generó un reporte sumario. Estos hallazgos serán utilizados para llevar a cabo una comparativa en el estudio realizado.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo, se exponen los resultados de las pérdidas obtenidas al modelar la red de bajo voltaje, así como los resultados de la ubicación de capacitores. Además, se realizó el cálculo de las pérdidas de energía, proporcionando una comparativa entre las pérdidas antes y después de la implementación de los capacitores, haciendo referencia a los cinco enfoques diferentes utilizados para su ubicación. Estos resultados fueron fundamentales para comprender la implementación de los capacitores en la reducción de pérdidas en el alimentador.

4.1 Cálculo de pérdidas de potencia del alimentador San Agustín No. 5 mediante la modelación de la red de bajo voltaje

Una vez ejecutado la distribución de carga y flujo de carga del alimentador ya modelado se obtuvo el reporte sumario, donde se pudo observar todas las pérdidas del alimentador en forma resumida y obtener las pérdidas de cobre Trafo y vacío Trafo, el reporte sumario por zona para obtener las pérdidas de bajo voltaje, el reporte de líneas y cables que permitió obtener las pérdidas de las líneas aéreas de medio voltaje, los cables de medio voltaje, acometidas y acometidas de alumbrado público. Estos datos son los siguientes:

Tabla 4

Potencia de pérdidas en el alimentador en condiciones iniciales

Potencia de pérdidas en el alimentador (kW)							
Línea aérea MV	**Cable MV**	**Cobre Trafo**	**Vacío Trafo**	**Red. BV**	**Acometidas**	**Ac. AP**	**Pérdidas de potencia totales**
2,02	0,21	10,68	10,22	9,07	3,66	0,06	35,93

4.2 Cálculo de pérdidas de potencia del alimentador San Agustín No. 5 mediante la ubicación de capacitores

Al haber realizado la ubicación de capacitores y ejecutado el flujo de carga, se obtuvo las pérdidas del alimentador a través del reporte sumario, reporte sumario por zona y el reporte de líneas y cables, para poder realizar un mejor análisis de los resultados se realizó 5 estudios con diferentes números de capacitores a continuación se presentarán los resultados obtenidos.

Tabla 5

Potencia de pérdidas en el alimentador con la ubicación de capacitores

	Potencia de pérdidas en el alimentador (kW)							
No. capacitores	**Línea aérea MV**	**Cable MV**	**Cobre Trafo**	**Vacío Trafo**	**Red. BV**	**Acometidas**	**Ac. AP**	**Pérdidas de potencia totales**
0	2,02	0,21	10,68	10,22	9,07	3,66	0,06	35,93
1	1,74	0,18	10,67	10,23	9,06	3,65	0,01	35,54
2	1,77	0,18	10,67	10,23	9,06	3,66	0,01	35,57
9	1,74	0,18	10,67	10,23	9,06	3,65	0,01	35,53
14	1,70	0,17	10,65	10,24	9,05	3,64	0,01	35,45
18	1,74	0,18	10,63	10,23	9,05	3,62	0,01	35,46

En la tabla 5, se evidencia la reducción de las pérdidas de potencia en los diversos componentes del sistema eléctrico de distribución al instalar capacitores en distintas cantidades. Destaca una disminución notable en los lugares donde se ubicaron 14 y 18 capacitores, atribuible no solo al aumento en el número de capacitores instalados, sino también a la consideración de la red de medio y bajo voltaje. Este enfoque contrasta con los análisis anteriores que se centraron únicamente en la red de medio voltaje. .

4.3 Cálculo de pérdidas de energía mediante el método de Mentor Poveda

Para calcular las pérdidas de energía utilizando el método de Mentor Poveda, es necesario determinar la potencia de pérdidas en cada intervalo y determinar la energía total de pérdidas; todo este proceso se llevó a cabo utilizando la información obtenida del análisis del flujo de carga de los reportes sumarios.

4.3.1 Cálculo de pérdidas de potencia

Para el cálculo de pérdidas de potencia de la línea aérea de MV de un intervalo se procedió a utilizar la fórmula 1, en donde se seleccionó los datos de la tabla 6:

Tabla 6

Datos para obtener la pérdida de potencia en cada intervalo

Demanda máxima (kW)	Potencia de pérdidas de demanda máxima	Demanda de potencia en el intervalo (kW)	Factor de potencia en demanda máxima	Factor de potencia del intervalo
1029,79	2,02	958,2	88	88

La ecuación anteriormente utilizada se aplicó para las líneas aéreas en MV, cables en MV, Cobre en el transformador, red BV y acometidas.

$$P_{perd}=\left(\frac{958{,}20*88}{1029{,}79*88}\right)^2*2{,}02$$

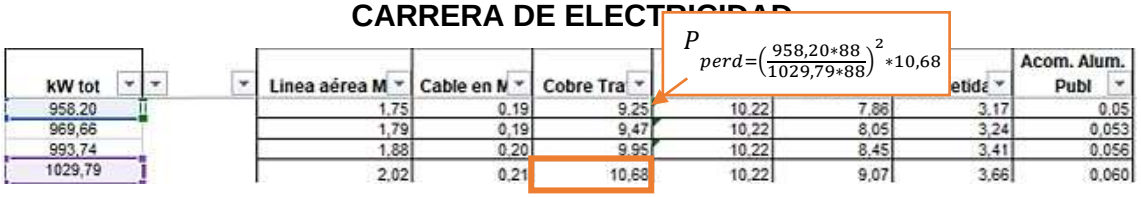
kW tot	Linea aérea M			Trat	Red BV	Acometida	Acom. Alum. Publ
958,20	1,75	0,19	9,25	10,22	7,86	3,17	0,05
969,66	1,79	0,19	9,47	10,22	8,05	3,24	0,053
993,74	1,88	0,20	9,95	10,22	8,45	3,41	0,056
1029,79	2,02	0,21	10,68	10,22	9,07	3,66	0,060

Figura 45 Cálculo de potencia de pérdidas para la línea aérea en MV

$$P_{perd}=\left(\frac{958{,}20*88}{1029{,}79*88}\right)^2*0{,}21$$

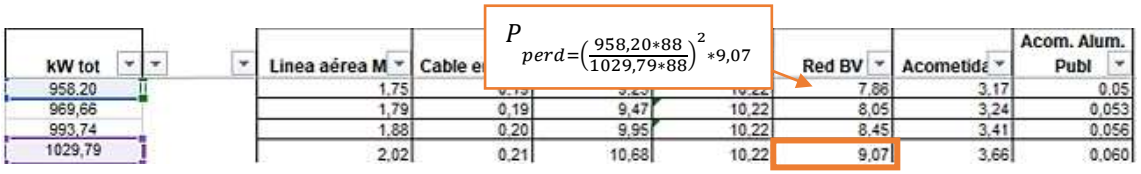
kW tot	Linea aérea M	Cable en M			BV	Acometida	Acom. Alum. Publ
958,20	1,75	0,19	9,25	10,22	7,86	3,17	0,05
969,66	1,79	0,19	9,47	10,22	8,05	3,24	0,053
993,74	1,88	0,20	9,95	10,22	8,45	3,41	0,056
1029,79	2,02	0,21	10,68	10,22	9,07	3,66	0,060

Figura 46 Cálculo de potencia de pérdidas para cable en MV



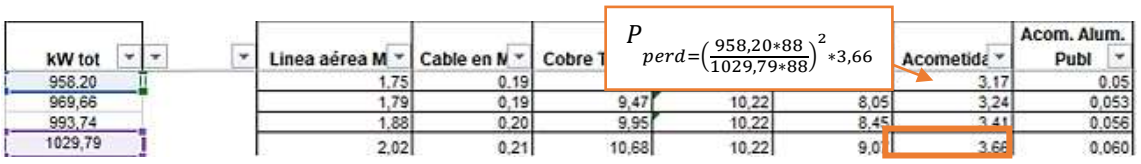
kW tot	Linea aérea M	Cable en M	Cobre Tra				Acom. Alum. Publ
958,20	1,75	0,19	9,25	10,22	7,86	3,17	0,05
969,66	1,79	0,19	9,47	10,22	8,05	3,24	0,053
993,74	1,88	0,20	9,95	10,22	8,45	3,41	0,056
1029,79	2,02	0,21	10,68	10,22	9,07	3,66	0,060

Figura 47 Cálculo de potencia de pérdidas para el cobre Trafo



kW tot	Linea aérea M	Cable e			Red BV	Acometida	Acom. Alum. Publ
958,20	1,75				7,86	3,17	0,05
969,66	1,79	0,19	9,47	10,22	8,05	3,24	0,053
993,74	1,88	0,20	9,95	10,22	8,45	3,41	0,056
1029,79	2,02	0,21	10,68	10,22	9,07	3,66	0,060

Figura 48 Cálculo de potencia de pérdidas para red de BV



kW tot	Linea aérea M	Cable en M	Cobre T			Acometida	Acom. Alum. Publ
958,20	1,75	0,19				3,17	0,05
969,66	1,79	0,19	9,47	10,22	8,05	3,24	0,053
993,74	1,88	0,20	9,95	10,22	8,45	3,41	0,056
1029,79	2,02	0,21	10,68	10,22	9,0	3,66	0,060

Figura 49 Cálculo de potencia de pérdidas para acometidas

kW tot	Linea aérea M	Cable en M	Cobre Tra	Vacio			Acom. Alum. Publ
958,20	1,75	0,19	9,25				0,05
969,66	1,79	0,19	9,47	10,22	8,05	3,24	0,053
993,74	1,88	0,20	9,95	10,22	8,45	3,41	0,056
1029,79	2,02	0,21	10,68	10,22	9,07	3,66	0,060

Figura 50 Cálculo de potencia de pérdidas para alumbrado público

Para el cálculo de las pérdidas de potencia de cada intervalo del vacío del transformador no se aplica la fórmula 1, ya que estas pérdidas son constantes

kW tot	Linea aérea M	Cable en M	Cobre Tra	Vacio Trat	Red BV	Acometida	Acom. Alum. Publ
958,20	1,75	0,19	9,25	10,22	7,86	3,17	0,05
969,66	1,79	0,19	9,47	10,22	8,05	3,24	0,053
993,74	1,88	0,20	9,95	10,22	8,45	3,41	0,056
1029,79	2,02	0,21	10,68	10,22	9,07	3,66	0,060

Figura 51 Pérdidas de potencia en vacío

La fórmula aplicada debe calcularse en todos los intervalos de tiempo y en cada análisis de ubicación de capacitores para proceder al siguiente cálculo.

4.3.2 Cálculo de las pérdidas técnicas

Tras la recopilación de los resultados de las pérdidas de potencia en todos los intervalos de cada análisis, se empleó la ecuación 2 para calcular las pérdidas totales de energía técnicas.

4.3.2.1 Cálculo de pérdidas técnicas de energía eléctrica en condición inicial

En la tabla 7 se presentan los resultados del análisis realizado sin la presencia de capacitores en el sistema, con el objetivo de evaluar las pérdidas de energía en esta configuración inicial

Tabla 7

Pérdidas de energía sin ubicación de capacitores

Pérdidas de energía (kWh)							
Línea aérea MV	**Cable MV**	**Cobre Trafo**	**Vacío Trafo**	**Red. BV**	**Acometidas**	**Ac. AP**	**Total E. Técnica**
517,69	55,08	2743,73	7113,21	2330,20	939,31	15,41	13714,62

4.3.2.2 Cálculo de pérdidas técnicas de energía eléctrica con la ubicación de un capacitor

La tabla 8 muestra los resultados del análisis con la incorporación de un capacitor en la red de Media Tensión (MV), con el objetivo de evaluar las pérdidas técnicas de energía con la configuración inicial.

Tabla 8

Pérdidas de energía con un capacitor

Pérdidas de energía (kWh)							
Línea aérea MV	**Cable MV**	**Cobre Trafo**	**Vacío Trafo**	**Red. BV**	**Acometidas**	**Ac. AP**	**Total P. Técnicas**
446,65	46,11	2739,31	7120,63	2326,93	938,08	1,41	13619,12

En la tabla 9 se observa las características del capacitor ubicado en este análisis

Tabla 9

Características del condensador ubicado en el primer estudio

N. Capacitores	kVAr	Tipo de bateria	Tipo	Coordenadas		Poste	Zona
				X	Y		
1	1200	Trifásico	Fijo	819296,119	10037964,6	73214	Media tensión

4.3.2.3 Cálculo de pérdidas técnicas de energía eléctrica con la ubicación de dos capacitores

En la tabla 10 se presentan los resultados del análisis con dos capacitores en la red de Media Tensión (MV), con el fin de analizar el impacto de esta configuración en las pérdidas de energía

Tabla 10

Pérdidas de energía con dos capacitores

Pérdidas de energía (kWh)							
Línea aérea MV	**Cable MV**	**Cobre Trafo**	**Vacío Trafo**	**Red. BV**	**Acometidas**	**Ac. AP**	**Total P. Técnicas**
455,49	46,12	2739,94	7120,08	2325,72	939,18	1,41	13627,95

En la tabla 11 se observa las características de los capacitores ubicados en este análisis

Tabla 11

Características de los capacitores ubicados en el segundo estudio

N. Capacitores	kVAr	Tipo de bateria	Tipo	Coordenadas		Poste	Zona
				X	Y		
1	600	Trifásico	Fijo	819374,6638	10038346,73	73154	Media tensión
1	600	Trifásico	Fijo	819371,1506	10038428,75	73144	Media tensión

4.3.2.4 Cálculo de pérdidas técnicas de energía eléctrica con la ubicación de nueve capacitores

Los resultados del análisis con nueve capacitores en la red de Media Tensión (MV) se detallan en la tabla 12, para identificar cómo esta cantidad de capacitores afecta las pérdidas de energía en el sistema.

Tabla 12

Pérdidas de energía con nueve capacitores

Pérdidas de energía (kWh)							
Línea aérea MV	**Cable MV**	**Cobre Trafo**	**Vacío Trafo**	**Red. BV**	**Acometidas**	**Ac. AP**	**Total P. Técnicas**
446,94	45,71	2739,19	7123,08	2325,61	937,72	1,41	13619,65

En la tabla 13 se observa las características de los capacitores ubicados en este análisis

Tabla 13

Características de los capacitores ubicados en el tercer estudio

N. Capacitores	kVAr	Tipo de bateria	Tipo	Coordenadas		Poste	Zona
				X	Y		
1	200	Trifásicos	Fijo	819187,9303	10038715,98	73114	Media tensión
1	200	Trifásicos	Fijo	819336,4248	10038518,53	73141	Media tensión
1	200	Trifásicos	Fijo	819205,7713	10038712,37	73116	Media tensión
1	200	Trifásicos	Fijo	819155,39	10038731,57	73105	Media tensión
1	100	Trifásicos	Fijo	819313,1494	10037998,15	73213	Media tensión
1	100	Trifásicos	Fijo	819298,1143	10037987,84	73217	Media tensión
1	100	Trifásicos	Fijo	819319,2971	10038103,19	73196	Media tensión
1	100	Trifásicos	Fijo	819271,5045	10037912,62	73216	Media tensión
1	100	Trifásicos	Fijo	819239,8114	10037838,84	73269	Media tensión

4.3.2.5 Cálculo de pérdidas técnicas de energía eléctrica con la ubicación de catorce capacitores

Se presentan a continuación los resultados del análisis con catorce capacitores, ubicados en las redes de Baja y Media Tensión (BV y MV), con el propósito de comparar y analizar las pérdidas de energía en esta configuración particular.

Tabla 14

Pérdidas de energía con catorce capacitores

Pérdidas de energía (kWh)							
Línea aérea MV	**Cable MV**	**Cobre Trafo**	**Vacío Trafo**	**Red. BV**	**Acometidas**	**Ac. AP**	**Total P. Técnicas**
448,18	46,07	2734,66	7127,04	2325,46	930,86	1,54	13613,82

En la tabla 15 se observa las características de los capacitores ubicados en este análisis

Tabla 15

Características de los capacitores ubicados en el cuarto estudio

N. Capacitores	kVAr	Tipo de bateria	Tipo	Coordenadas		Poste	Zona	RB
				X	Y			
1	400	Trifásico	Fijo	819374,664	10038346,7	73154	Media tensión	
1	400	Trifásico	Fijo	819345,753	10038534,8	73136	Media tensión	
1	50	Trifásico	Fijo	819271,505	10037912,6	73216	Media tensión	
1	50	Trifásico	Fijo	819239,811	10037838,8	73269	Media tensión	
1	50	Trifásico	Fijo	819200,861	10037752,1	73290	Media tensión	
1	400	Monofásico	Fijo	818570,094	10036900,4	75017	Baja tensión	50kVA_13640
1	400	Monofásico	Fijo	818570,094	10036900,4	75017	Baja tensión	50kVA_13640
1	400	Monofásico	Fijo	818555,594	10036871,1	75018	Baja tensión	50kVA_13640
1	400	Monofásico	Fijo	818543,484	10036840,8	75019	Baja tensión	50kVA_13640
1	300	Monofásico	Fijo	819236,73	10038388,2	73551	Baja tensión	30kVA_13635
1	300	Monofásico	Fijo	819239,707	10038372,5	73550	Baja tensión	30kVA_13635
1	300	Monofásico	Fijo	819244,471	10038354,9	73549	Baja tensión	30kVA_13635
1	300	Monofásico	Fijo	819244,679	10038337,4	73548	Baja tensión	30kVA_13635
1	300	Monofásico	Fijo	819297,74	10038394,9	74966	Baja tensión	30kVA_13635

4.3.2.6 Cálculo de pérdidas técnicas de energía eléctrica con la ubicación de 21 capacitores

En la tabla 16 se muestran los resultados del análisis con la ubicación de dieciocho capacitores, distribuidos en las redes de Baja y Media Tensión (BV y MV), destacando la configuración que demostró la menor cantidad de pérdidas de energía en el sistema

Tabla 16

Pérdidas de energía con dieciocho capacitores

Pérdidas de energía (kWh)							
Línea aérea MV	**Cable MV**	**Cobre Trafo**	**Vacío Trafo**	**Red. BV**	**Acometidas**	**Ac. AP**	**Total P. Técnicas**
446,04	45,45	2730,49	7123,13	2324,90	929,06	1,54	13600,62

En la tabla 17 se observa las características de los capacitores ubicados en este análisis

Tabla 17

Características de los capacitores ubicados en el quinto estudio

N. Capacitores	kVAr	Tipo de bateria	Tipo	Coordenadas		Poste	Zona	RB
				X	Y			
1	600	Trifásico	Fijo	819337,273	10038225,2	73171	Media tensión	
1	150	Trifásico	Fijo	819350,136	10037635,2	73315	Media tensión	
1	250	Trifásico	Fijo	819205,771	10038712,4	73116	Media tensión	
1	400	Monofásico	Fijo	818570,094	10036900,4	75017	Baja tensión	50kVA_13640
1	400	Monofásico	Fijo	818570,094	10036900,4	75017	Baja tensión	50kVA_13640
1	600	Monofásico	Fijo	818399,803	10036542,3	75029	Baja tensión	50kVA_13640
1	600	Monofásico	Fijo	818399,803	10036542,3	75029	Baja tensión	50kVA_13640
1	600	Monofásico	Fijo	818385,894	10036512,1	75030	Baja tensión	50kVA_13640
1	600	Monofásico	Fijo	818385,894	10036512,1	75030	Baja tensión	50kVA_13640
1	200	Monofásico	Fijo	819236,73	10038388,2	73551	Baja tensión	30kVA_13635
1	200	Monofásico	Fijo	819236,73	10038388,2	73551	Baja tensión	30kVA_13635
1	200	Monofásico	Fijo	819239,707	10038372,5	73550	Baja tensión	30kVA_13635
1	200	Monofásico	Fijo	819239,707	10038372,5	73550	Baja tensión	30kVA_13635
1	200	Monofásico	Fijo	819244,471	10038354,9	73549	Baja tensión	30kVA_13635
1	200	Monofásico	Fijo	819297,74	10038394,9	74966	Baja tensión	30kVA_13635
1	200	Monofásico	Fijo	819255,832	10038303,3	74969	Baja tensión	30kVA_13635
1	200	Monofásico	Fijo	819199,293	10038186	74973	Baja tensión	30kVA_13635
1	200	Monofásico	Fijo	819199,293	10038186	74973	Baja tensión	30kVA_13635

4.4 Resultados finales

Al calcular las pérdidas de energía en la etapa inicial con y sin la presencia de capacitores, se realizó una comparación de los resultados obtenidos.

4.4.1 Análisis Comparativo de la Ubicación de Capacitores para la Reducción de Pérdidas de Energía Eléctrica

En la situación inicial, sin la implementación de capacitores, las pérdidas de energía eléctrica alcanzaron un valor de 13.714,62 kWh. Al incorporar un solo capacitor en la red de medio voltaje, las pérdidas se redujeron a 13.619,12 kWh, lo que representa una disminución del 0,70% con respecto a la línea base.

Tabla 18

Comparativa con la ubicación de un capacitor

	Sin capacitor	Ubicación 1 capacitor	% Reducción
Potencia pérd. (kW)	35,93	35,54	1,09
E. pérd. (kWh)	13714,62	13619,12	0,70

Cuando se ubicaron dos capacitores en la red de medio voltaje, las pérdidas disminuyeron aún más, llegando a 13.627,32 kWh, lo que equivale a una reducción del 0,64% en comparación con la situación inicial.

Tabla 19

Comparativa con la ubicación de dos capacitores

	Sin capacitor	Ubicación con 2 capacitores	% Reducción
Potencia pérd. (kW)	35,93	35,57	0,99
E. pérd. (kWh)	13714,62	13627,32	0,64

Al aumentar el número de capacitores a 9, en la red de medio voltaje, las pérdidas de energía se redujeron a 13.619,65 kWh, lo que representa una disminución del 0,69% con respecto al escenario sin capacitores

Tabla 20

Comparativa con la ubicación de 9 capacitores

	Sin capacitor	Ubicación con 9 capacitores	% Reducción
Potencia pérd. (kW)	35,93	35,53	1,10
E. pérd. (kWh)	13714,62	13619,65	0,69

Por otro lado, al considerar la ubicación de 14 capacitores, incluyendo tanto la red de medio voltaje como la de bajo voltaje, las pérdidas de energía se redujeron a 13.613,82 kWh, lo que equivale a una disminución del 0,73% en comparación con la situación inicial.

Tabla 21

Comparativa con la ubicación de 14 capacitores

	Sin capacitor	Ubicación con 14 capacitores	% Reducción
Potencia pérd. (kW)	35,93	35,45	1,33
E. pérd. (kWh)	13714,62	13613,82	0,73

Finalmente, la alternativa que presentó el mayor impacto en la reducción de pérdidas de energía eléctrica fue la ubicación de 18 capacitores, tanto en la red de medio voltaje como en la de bajo voltaje. En este escenario, las pérdidas se redujeron a 13.600,62 kWh, lo que representa una disminución del 0,83% con respecto a la línea base.

Tabla 22

Comparativa con la ubicación de 18 capacitores

	Sin capacitor	Ubicación 18 capacitores	% Reducción
Potencia pérd. (kW)	35,93	35,46	1,30
E. pérd. (kWh)	13714,62	13600,62	0,83

Estos resultados demuestran que la estrategia de ubicación de capacitores es una alternativa efectiva para disminuir las pérdidas de energética del alimentador San Agustín No. 5. Dado que a medida que se incrementa el número de capacitores, se observa una mayor reducción de las pérdidas de energía eléctrica. Sin embargo, es importante considerar también los aspectos técnicos, económicos y de factibilidad de implementación para determinar la mejor opción para la empresa distribuidora.

Conclusiones

Para reducir las pérdidas de energía eléctrica existen varias estrategias como cambio de calibre en el conductor, instalación de capacitores, instalación de reguladores de voltaje, estrategias que deben ser analizadas procurando que su implementación sea lo más económica posible, una de estas alternativas es la ubicación óptima de capacitores utilizando el módulo de CYME.

Los resultados obtenidos, requieren de una modelación del alimentador primario en cada una de las etapas funcionales, el cálculo de las pérdidas de energía requiere del cálculo previo de las pérdidas de potencia, para esto se utilizó la herramienta especializada CYME y sus diferentes módulos, donde se muestran la viabilidad técnica de la implementación de capacitores en el alimentador San Agustín No. 5.

La ubicación de capacitores mediante el software CYME se logra a través de un proceso iterativo, que es una de las ventajas del módulo de ubicación de capacitores. Esta metodología permite identificar los tramos más adecuados para instalar los capacitores. Al realizar un análisis de flujo de carga con los capacitores ya aplicados, es posible comparar los resultados con las condiciones iniciales para destacar casos que aseguren la reducción de las pérdidas de energía.

Recomendaciones

Al ya contar con la base modelada de la red de bajo voltaje del alimentador San Agustín No. 5, se abre la oportunidad de realizar otros estudios, como la ubicación de reguladores de voltaje, los cuales también contribuyen a la reducción de pérdidas de energía. Donde se plantearía una comparativa entre los resultados obtenidos con la ubicación de capacitores y la de reguladores de voltaje permitiendo identificar la opción más beneficiosa en términos de eficiencia energética para el sistema de distribución eléctrica.

Referencias bibliográficas.

[1] EmelNorte, "INDICADORES COMERCIALES E INDICADORES DE CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO," 2022.

[2] A. Levy, D. Messina, and R. Contreras Lisperguer, "Definiciones del sector eléctrico para la incorporación de las energías renovables variables y la integración regional en América Latina y el Caribe," 2021. [Online]. Available: www.cepal.org/apps

[3] ARCERNNR, "Atlas del sector eléctrico ecuatoriano," *Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952.*, no. Mi, pp. 5–24, 2022, [Online]. Available: https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/03/Atlas-2022_baja.pdf

[4] M. Juan and C. Paul, "Determinación de pérdidas de energía en transformadores de distribución mediante algoritmo de compensación en sistemas de medición," 2018.

[5] O. Montoya, A. Mejía, W. Gil, and A. Garcés, "Compensación de potencia reactiva en sistemas de distribución," no. November, p. 188, 2021, [Online]. Available: https://elibro.net/es/ereader/utnorte/229807?page=1

[6] Three D Metals, "Cómo Funciona la Distribución Eléctrica y el Papel del Aluminio -." Accessed: Jul. 14, 2024. [Online]. Available: https://threedmetals.com/es/blog/como-funciona-la-distribucion-electrica-y-el-papel-del-aluminio/

[7] O. Montoya, A. Mejía, W. Gil, and A. Garcés, "Compensación de potencia reactiva en sistemas de distribución," no. November, p. 188, 2021.

[8] D. Rosero, "ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARGA Y ESTUDIOS ELÉCTRICOS DE LOS ALIMENTADORES DE LA NUEVA SUBESTACIÓN EL ROSAL DE EMELNORTE S. A.," no. 1, pp. 1–14, 2019.

[9] C. Enríquez, "ESTUDIO DE UBICACIÓN ÓPTIMA DE BANCO DE CAPACITORES, EN LOS ALIMENTADORES DE LA SUBESTACIÓN LA ESPERANZA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE," p. 6, 2021.

[10] K. Diaz, "REDES NEURONALES ARTIFICIALES APLICADA AL ESTUDIO DE PERFILES DE CARGA ELÉCTRICA EN ALIMENTADORES PRIMARIOS DE UNA ARQUITECTURA DE DISTRIBUCIÓN," *Sistema Biodigestor*, 2023.

[11] D. F. Martínez, A. Céspedes, and D. F. García, "Evaluation of Thermal Models used to Estimate the Hot-Spot Temperature in Distribution Transformers," *Informacion Tecnologica*, vol. 30, no. 3, pp. 295–306, 2019, doi: 10.4067/S0718-07642019000300295.

[12] S. Ramírez, *Redes de Distribución de Energía*. 2012.

[13] CNEL, "Manual de Acometida y Sistema de Medición," 2018.

[14] ARCERNNR, "Prestación del Servicio de Alumbrado Público General," pp. 1–28, 2020.

[15] J. Alchundia-Bravo and M. Mendoza-Saltos, "Estrategia empresarial para minimizar las pérdidas de energía y su incidencia en los niveles de eficiencia energética y operativa de CNEL-EP," *593 Digital Publisher CEIT*, vol. 6, no. 4–1, pp. 99–115, 2021, doi: 10.33386/593dp.2021.4-1.624.

[16] P. Alvaro, "IMPACTO DE LAS PÉRDIDAS Y DE SUS DESVÍOS COLATERALES EN LA FACTURA ELÉCTRICA - Magnus Commodities." Accessed: Jul. 14, 2024. [Online]. Available: https://magnuscmd.com/es/impacto-de-las-perdidas-y-de-sus-desvios-colaterales-en-la-factura-electrica/

[17] J. Pinos and A. Pita, "ESCENARIOS PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS EN UNA EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA. UN CASO DE ESTUDIO EN EL ECUADOR," 2017.

[18] L. Zamora, "DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN FORMA DE CALOR DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS REVESTIDOS CON COBERTURA DE VINILO DE POLICLORURO MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA," 2022.

[19] J. Alchundia-Bravo and M. Mendoza-Saltos, "Estrategia empresarial para minimizar las pérdidas de energía y su incidencia en los niveles de eficiencia energética y operativa de CNEL-EP," *593 Digital Publisher CEIT*, vol. 6, no. 4–1, pp. 99–115, 2021, doi: 10.33386/593dp.2021.4-1.624.

[20] N. Rivera, "Qué es el efecto Joule y por qué se ha convertido en algo trascendental para nuestras vidas." Accessed: Jul. 14, 2024. [Online]. Available: https://hipertextual.com/2015/05/efecto-joule

[21] J. Gómez and J. Gualpa, "ANÁLISIS TÉRMICO DEL EFECTO CORONA EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN," 2021.

[22] A. Merla, "6 Efectos Que Produce El Efecto Corona En Líneas De Transmisión." Accessed: Jul. 14, 2024. [Online]. Available: https://cursostesla.com/6-efectos-que-produce-el-efecto-corona-en-lineas-de-transmision/

[23] A. Ruiz, J. Gómez, and P. Viego, "Evaluación probabilística de las pérdidas de transformadores de Probabilistic evaluation of distribution transformers losses with unbalanced and deviated voltages," *Ingeniería Energética*, vol. XXXIV, no. 1, pp. 2–10, 2013.

[24] K. Muñoz, "Propuesta de una metodología para la determinación del nivel de las pérdidas de energía eléctrica en el alimentador A4602 del S.E Jauja de la UUNN valle Mantaro," *Universidad Continental*, 2019.

[25] S. Cañar, "Calculo Detallado De Perdidas En Sistemas Eléctricos De Distribución Aplicado Al Alimentador 'Universidad' Perteneciente a La Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.," p. 234, 2007.

[26] J. Franco, R. Gallego, and D. Rodas, "Localización óptima de reguladores de tensión en sistemas de distribución con un modelamiento trifásico.," *Scientia et Technica*, vol. 3, no. 32, pp. 109–114, 2006.

[27] G. Gutiérrez, "ÓPTIMA UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE BANCOS DE CAPACITORES USANDO COMPENSACIÓN VOLT-VAR EN MICRO-REDES ELÉCTRICAS," 2018.

[28] C. Carreño and J. Áviles, "Localización óptima de equipos de regulación de voltaje y compensación de reactivos para alimentadores de medio voltaje, mediante algoritmos evolutivos," vol. 4, no. 2, pp. 37–47, 2021.

[29] C. Enríquez, "ESTUDIO DE UBICACIÓN ÓPTIMA DE BANCO DE CAPACITORES, EN LOS ALIMENTADORES DE LA SUBESTACIÓN LA ESPERANZA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE," p. 6, 2021.

[30] H. Jonathan, "ESTUDIO DE UBICACIÓN ÓPTIMA DE CAPACITORES PARA LOS ALIMENTADORES DE LA SUBESTACIÓN CAYAMBE DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE.," 2021.

[31] R. Enrique, "UBICACIÓN ÓPTIMA DE UN BANCO DE CAPACITORES, BASADO EN ALGORITMOS DE LÓGICA DIFUSA," 2017.

[32] J. Trujillo, "ESTUDIO DEL FACTOR DE PÉRDIDAS TÉCNICAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE BAJO VOLTAJE, PARA LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE S.A.," 2019.

Anexos

Anexo A: Reporte sumario de pérdidas de potencia sin capacitores

Resumen total	kW	kvar	kVA	FP(%)
Fuentes (Potencia de equilibrio)	1028,09	527,20	1155,38	88,98
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
Producción total	**1028,09**	**527,20**	**1155,38**	**88,98**
Carga leída (no regulada)	992,21	569,34	1143,96	86,74
Carga utilizada (regulada)	992,21	569,34	1143,96	86,74
Condensadores shunt (regulados)	0,00	0,00	0,00	0,00
Reactancias shunt(reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
Cargas totales	**992,21**	**569,34**	**1143,96**	**86,74**
Capacitancia del cable	0,00	-82,16	82,16	0,00
Capacitancia de la línea	0,00	-2,37	2,37	0,00
Capacitancia shunt total	**0,00**	**-84,53**	**84,53**	**0,00**
Pérdidas en las líneas	11,09	10,36	15,17	73,09
Pérdidas en los cables	3,88	1,51	4,16	93,22
Pérdidas de carga del transformador	10,68	16,79	19,90	53,69
Pérdidas en vacío del transformador	10,22	13,74	17,12	59,70
Pérdidas totales	**35,87**	**42,39**	**55,53**	**64,60**

Anexo B: Reporte sumario de pérdidas de potencia con 14 capacitores

Resumen total	kW	kvar	kVA	FP(%)
Fuentes (Potencia de equilibrio)	1027,71	136,66	1036,76	99,13
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
Producción total	**1027,71**	**136,66**	**1036,76**	**99,13**
Carga leída (no regulada)	992,21	569,34	1143,96	86,74
Carga utilizada (regulada)	992,21	569,34	1143,96	86,74
Condensadores shunt (regulados)	0,00	-390,08	390,08	0,00
Reactancias shunt(reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
Cargas totales	**992,21**	**179,26**	**1008,28**	**98,41**
Capacitancia del cable	-0,00	-82,23	82,23	0,00
Capacitancia de la línea	-0,00	-2,37	2,37	0,00
Capacitancia shunt total	**-0,00**	**-84,60**	**84,60**	**0,00**
Pérdidas en las líneas	10,74	10,01	14,68	73,16
Pérdidas en los cables	3,81	1,50	4,10	93,02
Pérdidas de carga del transformador	10,65	16,74	19,84	53,68
Pérdidas en vacío del transformador	10,23	13,75	17,14	59,70
Pérdidas en el condensador shunt	0,06	0,00	0,06	100,00
Pérdidas totales	**35,49**	**42,00**	**54,99**	**64,55**

Anexo C: Reporte sumario de pérdidas de potencia con 18 capacitores

Resumen total	kW	kvar	kVA	FP(%)
Fuentes (Potencia de equilibrio)	1027,67	43,05	1028,58	99,91
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
Producción total	**1027,67**	**43,05**	**1028,58**	**99,91**
Carga leída (no regulada)	992,21	569,33	1143,95	86,74
Carga utilizada (regulada)	992,21	569,33	1143,95	86,74
Condensadores shunt (regulados)	0,00	-483,63	483,63	0,00
Reactancias shunt(reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
Cargas totales	**992,21**	**85,71**	**995,91**	**99,63**
Capacitancia del cable	0,00	-82,24	82,24	0,00
Capacitancia de la línea	-0,00	-2,37	2,37	0,00
Capacitancia shunt total	**0,00**	**-84,61**	**84,61**	**0,00**
Pérdidas en las líneas	10,72	9,99	14,65	73,17
Pérdidas en los cables	3,80	1,50	4,09	92,99
Pérdidas de carga del transformador	10,63	16,71	19,81	53,69
Pérdidas en vacío del transformador	10,23	13,75	17,14	59,70
Pérdidas en el condensador shunt	0,07	0,00	0,07	100,00
Pérdidas totales	**35,46**	**41,95**	**54,93**	**64,55**

Anexo D: Reporte sumario de pérdidas de potencia con 9 capacitores

Resumen total	kW	kvar	kVA	FP(%)
Fuentes (Potencia de equilibrio)	1027,75	107,06	1033,31	99,46
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
Producción total	**1027,75**	**107,06**	**1033,31**	**99,46**
Carga leída (no regulada)	992,21	569,34	1143,96	86,74
Carga utilizada (regulada)	992,21	569,34	1143,96	86,74
Condensadores shunt (regulados)	0,00	-419,68	419,68	0,00
Reactancias shunt(reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
Cargas totales	**992,21**	**149,66**	**1003,44**	**98,88**
Capacitancia del cable	0,00	-82,23	82,23	0,00
Capacitancia de la línea	-0,00	-2,37	2,37	0,00
Capacitancia shunt total	**0,00**	**-84,60**	**84,60**	**0,00**
Pérdidas en las líneas	10,73	10,00	14,67	73,17
Pérdidas en los cables	3,84	1,49	4,11	93,23
Pérdidas de carga del transformador	10,67	16,76	19,87	53,68
Pérdidas en vacío del transformador	10,23	13,75	17,14	59,70
Pérdidas en el condensador shunt	0,06	0,00	0,06	100,00
Pérdidas totales	**35,53**	**42,01**	**55,02**	**64,58**

Anexo E: Reporte sumario de pérdidas de potencia con 2 capacitores

Resumen total	kW	kvar	kVA	FP(%)
Fuentes (Potencia de equilibrio)	1027,78	139,38	1037,19	99,09
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
Producción total	**1027,78**	**139,38**	**1037,19**	**99,09**
Carga leída (no regulada)	992,21	569,34	1143,96	86,74
Carga utilizada (regulada)	992,21	569,34	1143,96	86,74
Condensadores shunt (regulados)	0,00	-387,41	387,41	0,00
Reactancias shunt(reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
Cargas totales	**992,21**	**181,92**	**1008,75**	**98,36**
Capacitancia del cable	0,00	-82,23	82,23	0,00
Capacitancia de la línea	-0,00	-2,37	2,37	0,00
Capacitancia shunt total	**0,00**	**-84,60**	**84,60**	**0,00**
Pérdidas en las líneas	10,77	10,04	14,73	73,14
Pérdidas en los cables	3,84	1,49	4,12	93,23
Pérdidas de carga del transformador	10,67	16,76	19,87	53,68
Pérdidas en vacío del transformador	10,23	13,75	17,14	59,70
Pérdidas en el condensador shunt	0,06	0,00	0,06	100,00
Pérdidas totales	**35,57**	**42,05**	**55,08**	**64,58**

Anexo F: Reporte sumario de pérdidas de potencia con 1 capacitor

Resumen total	kW	kvar	kVA	FP(%)
Fuentes (Potencia de equilibrio)	1027,76	139,35	1037,16	99,09
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
Producción total	**1027,76**	**139,35**	**1037,16**	**99,09**
Carga leída (no regulada)	992,21	569,34	1143,96	86,74
Carga utilizada (regulada)	992,21	569,34	1143,96	86,74
Condensadores shunt (regulados)	0,00	-387,41	387,41	0,00
Reactancias shunt(reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
Cargas totales	**992,21**	**181,93**	**1008,76**	**98,36**
Capacitancia del cable	0,00	-82,23	82,23	0,00
Capacitancia de la línea	-0,00	-2,37	2,37	0,00
Capacitancia shunt total	**0,00**	**-84,60**	**84,60**	**0,00**
Pérdidas en las líneas	10,74	10,01	14,68	73,17
Pérdidas en los cables	3,84	1,49	4,12	93,23
Pérdidas de carga del transformador	10,67	16,77	19,88	53,68
Pérdidas en vacío del transformador	10,23	13,75	17,14	59,70
Pérdidas en el condensador shunt	0,06	0,00	0,06	100,00
Pérdidas totales	**35,54**	**42,02**	**55,03**	**64,58**

Anexo G: Cálculo de pérdidas de potencia y energía condición inicial

	Sin capacitores							Total
Pérd-Dmax	2,02	0,21	10,68	10,22	9,07	3,66	0,06	35,93
Σpérd=	6212,25	660,98	32924,72	85358,54	27962,37	11271,72	184,89	164575,46
Epérd*h (kWh)=	517,69	55,08	2743,73	7113,21	2330,20	939,31	15,41	13714,62

Potencia de pérdidas y Energia de pérdidas								
	Linea aérea MV	Cable MV	Cobre Trafo	Vacio Trafo	Red. BV	Acometidas	Ac. AP	Total P. Técnicas
Potencia pérd. (kW)	2,02	0,21	10,68	10,22	9,07	3,66	0,06	35,93
E. perd. (kWh)	517,69	55,08	2743,73	7113,21	2330,20	939,31	15,41	13714,62

Linea aérea M	Cable en M	Cobre Tra	Vacio Tra	Red BV	Acometida	Acom. Alum. Publ
1,79	0,19	9,50	10,22	8,06	3,25	0,05
1,75	0,19	9,25	10,22	7,86	3,17	0,05
1,79	0,19	9,47	10,22	8,05	3,24	0,053
1,88	0,20	9,95	10,22	8,45	3,41	0,056
2,02	0,21	10,68	10,22	9,07	3,66	0,060
1,78	0,19	9,45	10,22	8,03	3,24	0,053
1,78	0,19	9,43	10,22	8,01	3,23	0,053
1,87	0,20	9,92	10,22	8,43	3,40	0,056
1,84	0,20	9,76	10,22	8,28	3,34	0,055

Anexo H: Cálculo de pérdidas de potencia y energía con la ubicación de 14 capacitores

	Pérdidas (14 CAPACITORES)							Total
Pérd-Dmax	1,70	0,17	10,65	10,24	9,05	3,64	0,01	35,45
Σpérd=	5378,19	552,88	32815,92	85524,47	27905,56	11170,33	18,49	
Epérd*h (kWh)=	448,18	46,07	2734,66	7127,04	2325,46	930,86	1,54	13613,82

Potencia de pérdidas (kW) y Energia de pérdidas kWh								
	Linea aérea MV	Cable MV	Cobre Trafo	Vacio Trafo	Red. BV	Acometidas	Ac. AP	Total P. Técnicas
Potencia pérd. (kW)	1,70	0,17	10,65	10,24	9,05	3,64	0,01	35,45
E. perd. (kWh)	448,18	46,07	2734,66	7127,04	2325,46	930,86	1,54	13613,82

	Sin capacitor	Ubicacion 21 capacitores	% de reduccion
Potencia pérd. (kW)	35,93	35,45	1,33
E. perd. (kWh)	13714,62	13613,82	0,73

Linea aérea MV	Cable en MV	Cobre Traf	Vacio Traf	Red BV	Acometidas	Acom. Alum. Publ
1,55	0,16	9,46	10,24	8,05	3,22	0,005
1,51	0,16	9,22	10,24	7,84	3,14	0,005
1,55	0,16	9,44	10,24	8,03	3,21	0,005
1,63	0,17	9,92	10,24	8,43	3,38	0,006
1,745	0,179	10,65	10,23	9,056	3,625	0,006
1,54	0,16	9,42	10,24	8,01	3,21	0,005
1,54	0,16	9,40	10,24	8,00	3,20	0,005
1,62	0,17	9,89	10,24	8,41	3,37	0,006
1,59	0,16	9,72	10,24	8,27	3,31	0,005

Anexo I: Cálculo de pérdidas de potencia y energía con la ubicación de 9 capacitores

	Pérdidas (9 CAPACITORES)							Total
Pérd-Dmax	1,74	0,18	10,67	10,23	9,06	3,65	0,01	35,53
Σpérd=	5363,30	548,50	32870,24	85476,94	27907,28	11252,61	16,95	163435,82
Epérd*h (kWh)=	446,94	45,71	2739,19	7123,08	2325,61	937,72	1,41	13619,65

Potencia de pérdidas (kW) y Energia de pérdidas kWh								
	Linea aérea MV	Cable MV	Cobre Trafo	Vacio Trafo	Red. BV	Acometidas	Ac. AP	Total P. Técnicas
Potencia pérd. (kW)	1,74	0,18	10,67	10,23	9,06	3,65	0,01	35,53
E. perd. (kWh)	446,94	45,71	2739,19	7123,08	2325,61	937,72	1,41	13619,65

	Sin capacitor	Ubicacion 9 capacitores	% de reduccion
Potencia pérd. (kW)	35,93	35,53	1,10
E. perd. (kWh)	13714,62	13619,65	0,69

Linea aérea MV	Cable en MV	Cobre Trafo	Vacio Trafo	Red BV	Acometidas	Acom. Alum. Pu
1,55	0,16	9,48	10,23	8,05	3,25	0,0049
1,51	0,15	9,24	10,23	7,84	3,16	0,0048
1,54	0,16	9,46	10,23	8,03	3,24	0,0049
1,62	0,17	9,93	10,23	8,43	3,40	0,0051
1,7405	0,18	10,67	10,23	9,0585	3,6517	0,01
1,54	0,16	9,44	10,23	8,01	3,23	0,0049
1,54	0,16	9,42	10,23	8,00	3,22	0,0049
1,62	0,17	9,90	10,23	8,41	3,39	0,0051
1,59	0,16	9,74	10,23	8,27	3,33	0,0050

Anexo J: Cálculo de pérdidas de potencia y energía con la ubicación de 1 capacitor

	Pérdidas 1 capacitor							Total
Pérd-Dmax	1,74	0,18	10,67	10,23	9,06	3,65	0,01	35,54
Σpérd=	5359,76	553,31	32871,78	85447,51	27923,19	11256,95	16,95	163429,45
Epérd*h (kWh)=	446,65	46,11	2739,31	7120,63	2326,93	938,08	1,41	13619,12

Potencia de pérdidas (kW) y Energia de pérdidas kWh								
	Linea aérea MV	Cable MV	Cobre Trafo	Vacio Trafo	Red. BV	Acometidas	Ac. AP	Total P. Técnicas
Potencia pérd. (kW)	1,74	0,18	10,67	10,23	9,06	3,65	0,01	35,54
E. perd. (kWh)	446,65	46,11	2739,31	7120,63	2326,93	938,08	1,41	13619,12

	Sin capacitor	Ubicacion 1 capacitor	% de reduccion
Potencia pérd. (kW)	35,93	35,54	1,09
E. perd. (kWh)	13714,62	13619,12	0,70

Linea aérea MV	Cable en MV	Cobre Trafo	Vacio Trafo	Red BV	Acometidas	Acom. Alum. Pu
1,55	0,16	9,48	10,23	8,05	3,25	0,0049
1,51	0,16	9,24	10,23	7,85	3,16	0,0048
1,54	0,16	9,46	10,23	8,03	3,24	0,0049
1,62	0,17	9,93	10,23	8,44	3,40	0,0051
1,739	0,18	10,67	10,23	9,0616	3,6531	0,006
1,54	0,16	9,44	10,23	8,02	3,23	0,0049
1,54	0,16	9,42	10,23	8,00	3,23	0,0049
1,62	0,17	9,90	10,23	8,41	3,39	0,0051
1,58	0,16	9,74	10,23	8,27	3,34	0,0050

Anexo K: Cálculo de pérdidas de potencia y energía con la ubicación de 2 capacitores

	Pérdidas 2 CAPACITORES							Total
Pérd-Dmax	1,77	0,18	10,67	10,23	9,06	3,66	0,01	35,57
Σpérd=	5465,91	553,43	32871,78	85440,96	27908,64	11270,17	16,95	163527,85
Epérd*h (kWh)=	455,49	46,12	2739,31	7120,08	2325,72	939,18	1,41	13627,32

Potencia de pérdidas (kW) y Energia de pérdidas kWh								
	Linea aérea MV	Cable MV	Cobre Trafo	Vacio Trafo	Red. BV	Acometidas	Ac. AP	Total P. Técnicas
Potencia pérd. (kW)	1,77	0,18	10,67	10,23	9,06	3,66	0,01	35,57
E. perd. (kWh)	455,49	46,12	2739,31	7120,08	2325,72	939,18	1,41	13627,32

	Sin capacitor	Ubicacion 2 capacitores	% de reduccion
Potencia pérd. (kW)	35,93	35,57	0,99
E. perd. (kWh)	13714,62	13627,32	0,64

Linea aérea MV	Cable en MV	Cobre Traf	Vacio Traf	Red BV	Acometida	Acom. Alum. Publ
1,58	0,16	9,48	10,23	8,05	3,25	0,0049
1,54	0,16	9,24	10,23	7,84	3,17	0,0048
1,57	0,16	9,46	10,23	8,03	3,24	0,0049
1,65	0,17	9,93	10,23	8,43	3,41	0,0051
1,77	0,18	10,67	10,23	9,057	3,6574	0,01
1,57	0,16	9,44	10,23	8,01	3,24	0,0049
1,57	0,16	9,42	10,23	8,00	3,23	0,0049
1,65	0,17	9,90	10,23	8,41	3,40	0,0051
1,62	0,16	9,74	10,23	8,27	3,34	0,0050

Activar Win

Anexo L: Cálculo de pérdidas de potencia y energía con la ubicación de 18 capacitores

	Pérdidas 18 CAPACITORES							Total
Pérd-Dmax	1,74	0,18	10,63	10,23	9,05	3,62	0,01	35,46
Σpérd=	5352,52	545,42	32765,89	85477,58	27898,78	11148,76	18,49	163207,44
Epérd*h (kWh)=	446,04	45,45	2730,49	7123,13	2324,90	929,06	1,54	13600,62

Potencia de pérdidas (kW) y Energia de pérdidas kWh								
	Linea aérea MV	Cable MV	Cobre Trafo	Vacio Trafo	Red. BV	Acometidas	Ac. AP	Total P. Técnicas
Potencia pérd. (kW)	1,74	0,18	10,63	10,23	9,05	3,62	0,01	35,46
E. perd. (kWh)	446,04	45,45	2730,49	7123,13	2324,90	929,06	1,54	13600,62

	Sin capacitor	Ubicacion 18 capacitores	% de reduccion
Potencia pérd. (kW)	35,93	35,46	1,30
E. perd. (kWh)	13714,62	13600,62	0,83

Linea aérea M	Cable en MV	Cobre Trafo	Vacio Trafo	Red BV	Acometida	Acom. Alum. Pu
0,56	0,06	3,42	10,23	2,91	1,16	0,0019
0,54	0,05	3,30	10,23	2,81	1,12	0,0019
0,55	0,06	3,37	10,23	2,87	1,15	0,0019
0,50	0,05	3,07	10,23	2,61	1,04	0,0017
0,50	0,05	3,08	10,23	2,63	1,05	0,0017
0,50	0,05	3,06	10,23	2,61	1,04	0,0017
0,49	0,05	3,00	10,23	2,56	1,02	0,0017
0,53	0,05	3,22	10,23	2,74	1,10	0,0018
0,50	0,05	3,05	10,23	2,60	1,04	0,0017

var Windo

Anexo M: Turnitin

turnitin

Identificación de reporte de similitud: oid:21483:369512417

NOMBRE DEL TRABAJO
Lizeth Sánchez Final-turnitin.docx

AUTOR
Lizeth Sanchez

RECUENTO DE PALABRAS
7685 Words

RECUENTO DE CARACTERES
40989 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS
53 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO
4.9MB

FECHA DE ENTREGA
Jul 22, 2024 6:14 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME
Jul 22, 2024 6:15 PM GMT-5

7% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 6% Base de datos de Internet
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados

Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)
- Bloques de texto excluidos manualmente

Resumen