

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR,
MODALIDAD PRESENCIAL**

TEMA:

**ANÁLISIS DEL DESBALANCE DE CARGA DEL ALIMENTADOR
COTACACHI No.2 DE LA EMPRESA ELÉCTRICA EMELNORTE PARA
MEJORAR LA CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO**

Trabajo de Grado previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico

Línea de investigación: Biotecnología, energía y recursos naturales renovables

AUTOR:

Carius Alvarracín Jonatan Josafat

DIRECTOR:

MSc. Olger Gilberto Arellano Bastidas

Ibarra –Ecuador

2024



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:	0401507181		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Carius Alvarracín Jonatan Josafat		
DIRECCIÓN:	Ibarra		
EMAIL:	jccarius@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	S/N	TELÉFONO MÓVIL:	0981744833

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Análisis del desbalance de carga del alimentador Cotacachi No.2 de la empresa eléctrica EMELNORTE para mejorar la calidad del servicio eléctrico.
AUTOR (ES):	Carius Alvarracín Jonatan Josafat
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	25/07/2024
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Olger Gilberto Arellano Bastidas

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) 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 (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 25 días del mes de julio de 2024

EL AUTOR:

(Firma)
 Nombre: Carius Alvarracín Jonatan Josafat

**CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN****CURRICULAR**

Yo, ARELLANO BASTIDAS OLGER GILBERTO en calidad de director del señor estudiante CARIUS ALVARRACIN JONATAN JOSAFAT, certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del Trabajo de Integración Curricular con el tema: "Análisis del desbalance de carga del alimentador Cotacachi No.2 de la empresa eléctrica EMELNORTE para mejorar la calidad del servicio eléctrico"

Para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, aprobado la defensa, impresión y empastado.

Firma
Ing. Olger Arellano MSc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



DEDICATORIAS

"A mis padres, quienes con amor incondicional y sacrificio inquebrantable han sido mi faro y sostén a lo largo de este arduo viaje académico. A mi familia, por su apoyo constante y por ser mi fuente de inspiración. A mis amigos y seres queridos, cuyas palabras alentadoras y gestos de ánimo han iluminado mi camino. A todos aquellos que, de alguna manera, contribuyeron a este logro, mi más sincero agradecimiento. Este trabajo está dedicado a ustedes con profundo cariño y gratitud."



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de esta tesis. En primer lugar, a mi director y asesores, Olger Arrellano, Johnny Barzola, y Hernán Pérez cuya orientación experta y apoyo continuo fueron fundamentales en cada etapa de este proceso. Sus valiosas sugerencias y dedicación han enriquecido enormemente mi trabajo. Agradezco a mis profesores de la UTN, cuyos conocimientos compartidos y enseñanzas han sido la base de este proyecto de investigación. A mi familia, por su inquebrantable respaldo emocional y su comprensión durante los momentos intensos de estudio. En especial, agradezco a mi madre Geovanna Alvarracín, por ser ese motor y el sustento en todo este tiempo y quien siempre creyó en mí y me inspiró a alcanzar mis metas académicas. A mis amigos, y seres queridos, gracias por su paciencia, aliento y comprensión. Finalmente, agradezco a todas las personas que participaron en este proyecto de alguna manera u otra, directa o indirectamente. Su colaboración y contribuciones han sido esenciales para el éxito de este trabajo. Este logro no hubiera sido posible sin el apoyo de cada uno de ustedes. Gracias por formar parte de este transcurso académico.



INDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO

CAPITULO I INTRODUCCIÓN..... 14

1.1 Problema de Investigación 16

1.1.1 Problema a Investigar..... 16

1.2 Objetivo General..... 17

1.2.1 Objetivos Específicos 17

1.3 Alcance y delimitación 17

1.4 Justificación 18

CAPÍTULO II..... 20

MARCO TEÓRICO..... 20

2.1 Antecedentes 20

2.2 Circuito Eléctrico 20

2.3 Sistema de Distribución 20

2.3.1 Subestaciones de Distribución..... 21

2.3.2 Alimentadores Primarios 22

2.3.3 Transformadores de Distribución 22

2.4 Desbalances de carga 22

2.4.1 Como se genera un desbalance de carga 23

2.4.2 Porque existe un desbalance en el sistema de distribución 24

2.5 Tipos de Desbalance 25

2.5.1 Desbalance por fase 25

2.5.2 Desbalance de voltaje 25

2.5.3 Desbalance de corriente 26

2.5.4 Desbalance de Potencia 27

2.6 Causas y Consecuencias de los desbalances 28



2.6.1 Desbalance en Alimentadores Primarios.....	30
2.7 Perdidas de energía eléctrica	30
2.7.1 Perdidas técnicas	31
2.7.2 Perdidas no técnicas.....	32
2.8 Perturbación eléctrica	32
2.8.1 Regulación ARCERNNR 002/20	33
2.8.2 Calidad del servicio	33
2.9 Análisis del desbalance	33
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
3.1 Descripción técnica.....	34
3.2 Metodología	37
3.2.1 Estudio Técnico.....	38
3.3 Procedimiento Integral.....	38
3.3.1 Desconexiones imprevistas del Alimentador	40
3.4 Materiales.....	41
3.5 Ecuación de Desequilibrio.....	45
3.5.1 Ecuaciones de Desbalance de carga	46
CAPITULO IV RESUTADOS Y ANALISIS.....	48
4.1 Modelación del alimentador Cotacachi Circuito No.2.....	48
4.1.1 Exportación del Alimentador Primario en ArcGIS.....	48
4.1.2 Modelación en el Programa CYMDIST	53
4.2 Flujo de carga y Desbalance del alimentador.....	63
4.3 Análisis del Desbalance	67
4.4 Cálculos de Desequilibrio	71
4.4.1 Cálculo de Equilibrio de Cargas (kVA).....	72
4.5 Cálculos de Desbalance.....	72



4.5.2 Desbalance de Corriente.....	73
4.5.3 Desbalance de Potencia.....	74
4.6 Propuesta de mejora	76
Conclusiones:.....	77
Recomendaciones:.....	78
Referencias Bibliográficas:	79
Cronograma de Actividades	83
Recursos y presupuesto.....	84



INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Generación y Distribución de energía eléctrica. Tomada de [8]..... 21

Fig. 2 Circuito Primario Trifásico Aéreo. Obtenido de [13]. 24

Fig. 3 Voltajes de entrada con desbalance (ABC).Tomada de [16]. 26

Fig. 4 Estado de balance de red en el sistema de distribución eléctrica.
Tomado de [19]. 27

Fig. 5 Variación rápida de voltaje. Extraído de [22]. 29

Fig. 6 Pérdidas Técnicas. Tomada de [26] 31

Fig. 7 Pérdidas no Técnicas. Tomada de [28]. 32

Fig. 8 Ubicación de la Subestación Cotacachi..... 34

Fig. 9 Subestación Cotacachi. Tomada de [32] 35

Fig. 10 Esquema unifilar Subestación Cotacachi **a)**. Tomada de [32]..... 36

Fig. 11 Esquema unifilar Subestación Cotacachi **b)**. Tomada de [32]..... 36

Fig. 12 Trabajo de campo del alimentador Cotacachi..... 39

Fig. 13 Flujograma de la metodología 40

Fig. 14 Modulo Identificador de Fase. 42

Fig. 15 Interfaz del programa CYMDYS. 44

Fig. 16 Circuito Exportado en ArcGis. 51

Fig. 17 Puesto de transformadores. 52

Fig. 18 Red de BT Aérea y Puntos de Carga en ArcGis. 53

Fig. 19 Alimentador Cotacachi No.2 Importado en CYME 54

Fig. 20 Vista imbricada del Transformador 55

Fig. 21 Mapas de Fondo para modelación del Circuito..... 56

Fig. 22 Configuración del Transformador 57



Fig. 23 Configuración por Fase	58
Fig. 24 Configuración por Fase del Tramo de baja tensión	59
Fig. 25 Configuración del Cable de Acometida.....	60
Fig. 26 Configuración del Punto de Carga.....	61
Fig. 27 Configuración de la carga concentrada	62
Fig. 28 Valores Extraídos de ArcGis para la Carga	63
Fig. 29 Datos del Alimentador	64
Fig. 30 Configuración de Cabecera.....	65
Fig. 31 Distribución y Flujo de Carga.....	66
Fig. 32 <i>Cambio de fase B-C del tramo 297720_MTA</i>	67
Fig. 33 Cambio de fase de B-C en el tramo 298460_MTA	68
Fig. 34 Cambio de fase de C-A del tramo	69
Fig. 35 Datos de Desequilibrio y Desbalance	71



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Flujo de Carga Inicial..... 66

Tabla 2 Flujo de Carga. Opción 1..... 68

Tabla 3 Flujo de Carga. Opción 2..... 69

Tabla 4 Flujo de Carga. Opción 3..... 70

Tabla 5 Resultados de los Flujos de Carga 70

Tabla 6 Resumen de recursos y presupuestos por rubro 84



RESUMEN

En Ecuador, la falta de conciencia sobre el ahorro y la eficiencia energética es una preocupación a pesar de la importancia de la electricidad para el progreso. Aunque se han implementado iniciativas para renovar electrodomésticos, vehículos y sistemas de iluminación, el sector público carece de estudios de indicadores energéticos y políticas de gestión energética. La calidad de energía es esencial para el funcionamiento adecuado de dispositivos, abordando la seguridad y confiabilidad del servicio eléctrico. El principal objetivo de este estudio es analizar desbalance de carga del alimentador Cotacachi No.2 de la concesión EMELNORTE para la mejora de la calidad del servicio eléctrico en cuanto al equilibrio de cargas, mediante la utilización del módulo CYMDIST. El desbalance de carga es común en sistemas de distribución eléctrica, puede causar cortes, caídas de voltaje y pérdidas económicas. La implementación del Reglamento N° 002-20 establece criterios y procedimientos para evaluar la calidad de servicios eléctricos. Sin embargo, se destaca la necesidad de programas continuos para mejorar la eficiencia energética en medio del crecimiento poblacional y económico. Además, el texto menciona que la regulación busca reducir interrupciones en el servicio eléctrico, con una disminución del 19,64% en la frecuencia promedio de interrupciones según el Informe de Gestión de Distribución (2021). El proyecto de investigación adopta un enfoque metodológico diverso, utilizando métodos variados de manera secuencial y complementaria para analizar detalladamente el desbalance de carga y proponer soluciones.

Palabras clave: Calidad de energía, Calidad del servicio, Desbalance de carga, Equilibrio de carga,



ABSTRACT

In Ecuador, the lack of awareness regarding energy savings and efficiency is a concern despite the significance of electricity for progress. While initiatives have been implemented to upgrade appliances, vehicles, and lighting systems, the public sector lacks studies on energy indicators and energy management policies. Energy quality is crucial for the proper functioning of devices, addressing the safety and reliability of the electrical service. The primary objective of this study is to analyze the load imbalance of the Cotacachi No.2 feeder in the EMELNORTE concession to enhance the quality of electrical service in terms of load balancing, using the CYMDIST module. Load imbalance is common in electrical distribution systems, leading to outages, voltage drops, and economic losses. The implementation of Regulation No. 002-20 establishes criteria and procedures for assessing the quality of electrical services. However, there is a highlighted need for ongoing programs to improve energy efficiency amid population and economic growth. Additionally, the text mentions that the regulation aims to reduce interruptions in electrical service, with a 19.64% decrease in the average interruption frequency according to the Distribution Management Report (2021). The research project adopts a diverse methodological approach, using various methods sequentially and complementarily to thoroughly analyze load imbalance and propose solutions.

Keywords: Power quality, Service quality, Load imbalance, Load balancing



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La electricidad es esencial para el progreso de las sociedades modernas, pero en nuestro país hay una falta de conciencia acerca del ahorro y la eficiencia energética. Muchos equipos, como los médicos, los sistemas de iluminación, los equipos de oficina, los ascensores, los motores y las bombas, dependen de un servicio eléctrico de buena calidad, sin fluctuaciones o cortes de energía que puedan poner en peligro la seguridad humana.

En Ecuador, se han implementado planes de renovación de electrodomésticos y vehículos de transporte, así como la sustitución de la iluminación incandescente por la tecnología fluorescente y la utilización de cocinas de inducción. Sin embargo, en el sector público no se han realizado estudios de indicadores energéticos ni se han implementado políticas de gestión energética.

Según [2] mencionó que la calidad de la energía es un término que se refiere a los parámetros eléctricos óptimos que debe tener el suministro de energía en una instalación eléctrica, incluyendo voltaje, potencia activa, potencia reactiva y valores aceptables de factor de potencia.

El desbalance de carga es un problema recurrente en los sistemas de distribución eléctrica a nivel mundial. Este se produce cuando la carga eléctrica se distribuye de manera desigual entre las fases del sistema, lo que ocasiona diversas complicaciones como cortes en el suministro eléctrico, caídas de voltaje y un aumento en las pérdidas de energía.



M. Bollen explicó que los fenómenos que causan distorsión de las formas de onda de voltaje y corriente muchas veces afectan el rendimiento de los dispositivos conectados a la red, generando pérdidas económicas, ya sea por daños en los equipos o pérdida de datos por el apagado inoportuno de los equipos de cómputo.

En el libro de I. Gu "Procesamiento de señales de perturbaciones en la calidad de energía". El análisis de desequilibrio de carga nos permite identificar la causa raíz del problema y proponer soluciones para reducir el problema y mantener una carga equilibrada en el sistema.

Esto mejora la calidad del servicio eléctrico, reduce las pérdidas de energía y extiende la vida útil de los equipos eléctricos. Mediante Resolución N° ARCERNR-017/2020 se aprobó la Regulación N° 002-20 denominado "Calidad de los Servicios de Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica".

Esta norma específica criterios para evaluar la calidad de los servicios de distribución y comercialización de energía eléctrica, incluyendo indicadores y límites que deben cumplir las empresas eléctricas y los consumidores. Además, se han establecido procedimientos para medir, registrar y evaluar el cumplimiento de estas normas. [3]

Finalmente, se puede decir que para lograr una mayor eficiencia energética es necesario implementar programas que fomenten la mejora continua del sistema, especialmente a la luz del crecimiento poblacional y económico.



1.1 Problema de Investigación

1.1.1 Problema a Investigar

El desbalance de carga provocará fluctuaciones en la corriente de retorno a la red, lo que afectará la calidad del suministro de energía, dañará los equipos eléctricos y electrónicos de los usuarios, afectará la vida útil de los equipos y reducirá la eficiencia energética del sistema de distribución. Por lo tanto, es importante identificar y resolver los problemas de desbalance de carga para garantizar un suministro de energía confiable y eficiente.

Esto significa que la suma de las cargas totales conectadas a cada fase de un sistema bifásico o trifásico debe ser máxima, de lo contrario se considera desbalanceado. Actualmente, la calidad del servicio se ha convertido en un factor importante y diferenciador para las organizaciones de todo el mundo. La mejora en las políticas de calidad de los servicios se ha relacionado directamente con la satisfacción del cliente, especialmente para las empresas que proveen suministro eléctrico, ya que la frecuencia y calidad de la distribución del servicio son clave en su desempeño.

A pesar de ello, según datos proporcionados por CEPAL en 2018, las empresas eléctricas se ven afectadas por diversas causas que limitan su capacidad para brindar un servicio de calidad, como la falta de infraestructura, limitaciones en las instalaciones y bienes, así como factores externos que interrumpen la continuidad del servicio [4].

En Ecuador, el sistema eléctrico se divide en tres subsistemas: generación, transmisión y distribución, los cuales son evaluados por la regulación No ARCERNR - 002/20 con el objetivo de garantizar una distribución eficaz del sistema eléctrico y cumplir con un índice estándar que reduzca las interrupciones en el servicio.



1.1.2 Formulación de la pregunta de investigación

¿Cuáles son las causas del desbalance de carga en el Alimentador Cotacachi N°2, y cuáles son las soluciones para reducirlo y mejorar la calidad del servicio eléctrico?

1.2 Objetivo General

- Analizar desbalance de carga del alimentador Cotacachi N°2 de la concesión EMELNORTE para la mejora de la calidad del servicio eléctrico en cuanto al equilibrio de cargas, mediante la utilización del módulo CYMDIST.

1.2.1 Objetivos Específicos

1. Analizar los desbalances generados en el alimentador primario, identificando causas y efectos asociados.
2. Desarrollar el estudio técnico del balance de carga, para prevenir desconexiones imprevistas del alimentador Cotacachi N°2.
3. Proponer alternativas de mejoramiento del balance de cargas mediante el programa CYMDIST.

1.3 Alcance y delimitación

El enfoque principal de este proyecto de investigación es identificar el orden de fases del alimentador Cotacachi N°2 y posteriormente las causas que provoca el desbalance de carga mediante el análisis de los parámetros eléctricos que están registrados en la base de datos de la concesión EMELNORTE, una vez identificado estos parámetros se propone soluciones para reducirlo y mantener una carga balanceada en el sistema.



Además, se actualizará la información de fases mediante el programa ArcGIS para luego migrar esa información al programa CYMDIST, realizar el modelamiento del estado actual de la red y finalmente llegar a analizar el desbalance y criterios de mejora. La empresa eléctrica regional norte suministra la información actual sobre las pérdidas en el alimentador, así como los equipos necesarios para realizar el análisis, incluyendo medidores, analizadores, equipos de registro de datos y software CYMDIST y ArcGIS.

1.4 Justificación

Es crucial realizar un análisis exhaustivo del desbalance de carga en un sistema de distribución eléctrica debido a que puede tener impactos negativos significativos en la calidad del servicio eléctrico, la eficiencia energética y la durabilidad de los equipos eléctricos. puede ser causado por una distribución desigual de cargas entre las fases, desconexión accidental o intencional de una fase, uso predominante de cargas monofásicas, fluctuaciones en la demanda de carga, problemas en la red de distribución como conexiones flojas o cables dañados, equipos que generan carga asimétrica, y crecimiento desigual del consumo de energía. Estos factores pueden llevar a una sobrecarga en ciertas fases y subutilización en otras, resultando en cortes de suministro eléctrico, caídas de voltaje y aumento en las pérdidas de energía.

Por consiguiente, es vital realizar un análisis y solucionar el desbalance de carga para mejorar la calidad del servicio eléctrico, reducir las pérdidas de energía y prolongar la vida útil de los equipos eléctricos.

Al analizar el desbalance de cargas en un sistema de distribución eléctrica, se pueden obtener diferentes tipos de información nueva que pueden ser útiles para mejorar la calidad del servicio eléctrico y reducir las pérdidas de energía. Algunos ejemplos de esta información incluyen: Identificación de las causas del desbalance de



carga, como la conexión de cargas no balanceadas o la falla de un equipo eléctrico en particular.

Evaluación de la distribución actual de cargas en las diferentes fases del sistema eléctrico, lo que puede ayudar a optimizar la configuración del sistema para una mejor distribución de cargas y una mayor eficiencia energética. Medición de la calidad del servicio eléctrico, incluyendo la frecuencia y duración de las interrupciones del suministro eléctrico, la variación del voltaje y otros parámetros relevantes.

Análisis de las pérdidas de energía en el sistema eléctrico y evaluación de las medidas necesarias para reducirlas, como la corrección del factor de potencia o la eliminación de cargas innecesarias. Toda esta información puede ser útil para mejorar la calidad del servicio eléctrico y reducir las pérdidas de energía, lo que puede traducirse en una mayor eficiencia energética y una reducción de costos tanto para las empresas eléctricas como para los usuarios finales.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.2 Circuito Eléctrico

"En primer lugar, la red de distribución es un sistema de suministro de energía y su función es suministrar energía desde las subestaciones de distribución a los usuarios". [5].

"La importancia de estudiar la potencia y la energía en los circuitos radica en dos aspectos fundamentales: la transformación y la medición. La transformación se refiere al uso de la energía eléctrica con fines prácticos. Este método nos permite hacer predicciones relacionadas con la disponibilidad de energía y cómo funcionará. bajo diferentes tipos de cargas procesando energía." [6].

“El impacto más importante de la medición de potencia o energía está en la facturación energética y la gestión de las instalaciones en función de la distribución de carga más adecuada entre los diferentes componentes del sistema”. [6].

2.3 Sistema de Distribución

“El sistema de entrega de energía consta de una serie de componentes encargados de transportar la energía desde la subestación hasta el usuario final.” [7]

“El suministro de energía eléctrica requiere la implementación de una red bien diseñada que pueda gestionar los aumentos naturales de la demanda y esté compuesta por componentes de alta calidad capaces de resistir los efectos de los campos eléctricos

y las condiciones climáticas durante toda su vida útil.” [7]. En la Fig. 1, se ve representado un sistema de distribución eléctrica.

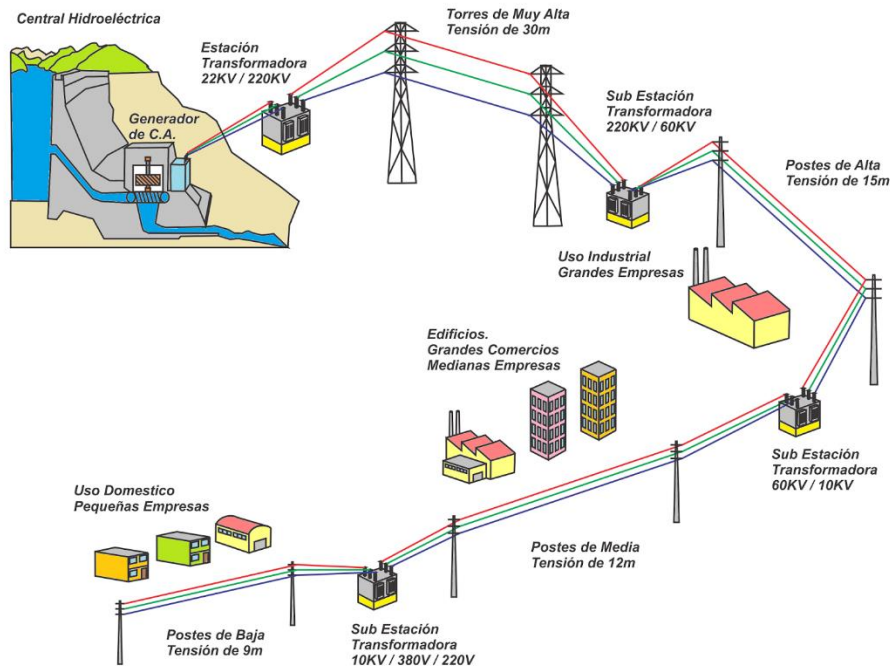


Fig. 1 Generación y Distribución de energía eléctrica. Tomada de [8]

Nota. Este sistema está dividido en tres subsistemas como son; el subsistema de producción en donde está compuesta por la central hidroeléctrica de generación de electricidad, el subsistema de transporte que está compuesta por la estación transformadora y donde se encuentran también las torres de muy alto voltaje, y finalmente el subsistema de distribución donde está compuesto por sub estaciones de transformación y postes de alto, medio y bajo voltaje.

2.3.1 Subestaciones de Distribución

"Las subestaciones de distribución modifican el voltaje de la etapa de transmisión para adaptarse a los requisitos del sistema de distribución con una relación de transformación de 69kV/13.8kV." [9].



2.3.2 Alimentadores Primarios

Los alimentadores primarios son componentes críticos de los sistemas de distribución. Se refieren a los conductores o cables que transportan energía eléctrica desde una subestación hasta cargas eléctricas ubicadas en diferentes áreas o circuitos del sistema. Estos conductores tienen su base en la empresa distribuidora EMELNORTE S.A. EMELNORTE S.A. operan con niveles de voltaje de 13.800 GRDY / 7.967 V.

“Son circuitos que se originan en subestaciones de distribución y en su recorrido suministran energía eléctrica a los transformadores de distribución.” [10]

2.3.3 Transformadores de Distribución

“Los transformadores de distribución son elementos básicos en los sistemas de distribución que entregan energía eléctrica a los usuarios finales a través de redes de baja tensión” [11].

2.4 Desbalances de carga

"Al existir desbalance, se origina entre las corrientes de fase, lo que se traduce en un aumento de las pérdidas de potencia y energía en toda la longitud del circuito, debilitando la calidad de energía y provocando un desequilibrio de tensión en los diferentes nodos del circuito eléctrico". [12]

“Al referirnos al desbalance de cargas en redes trifásicas los distribuidores de energía manifiestan que es un fenómeno que ocurre en los sistemas donde los voltajes y ángulos entre fases consecutivas no son iguales.” [4]

El desbalance de carga hace referencia a la distribución desigual de la carga entre los componentes de un sistema de distribución. Esto puede llevar a la saturación



de la capacidad máxima del sistema y provocar un bajo rendimiento de los componentes en general.

A continuación, se definen los tipos de desbalance de carga que se producen en un sistema de distribución.

2.4.1 Como se genera un desbalance de carga

En un sistema trifásico, lo ideal es que la carga acoplada a cada fase absorba el valor de voltaje de forma simétrica, por lo que la carga debe distribuirse equitativamente entre todas las fases del panel. Si uno es demasiado pesado en comparación con el otro, el voltaje en esa etapa será menor.

Los transformadores y motores trifásicos que alimenta este panel pueden calentarse mucho, hacer más ruido de lo habitual, vibrar excesivamente o incluso fallar prematuramente.

Los desbalances se crean cuando se incorporan nuevas cargas al sistema eléctrico y se realizan retrofits sin planificación eléctrica, lo que provoca que las fases tengan diferentes niveles de carga, dando como resultado un sistema desequilibrado.



2.4.2 Porque existe un desbalance en el sistema de distribución

"En los sistemas de distribución se utilizan ampliamente componentes de construcción y operación monofásicos: disyuntores, fusibles, transformadores y pararrayos.

Por lo tanto, al abrirse por manipulación, en los equipos aplicables, o en caso de falla, el sistema queda desequilibrado." [13]

"Dependiendo de la configuración estructural de los componentes del sistema de distribución, la probabilidad de falla en cada etapa puede diferir, y esto debe incluirse en

la evaluación de confiabilidad" [13]. En la Fig. 2, se ejemplifica un circuito primario trifásico aéreo.

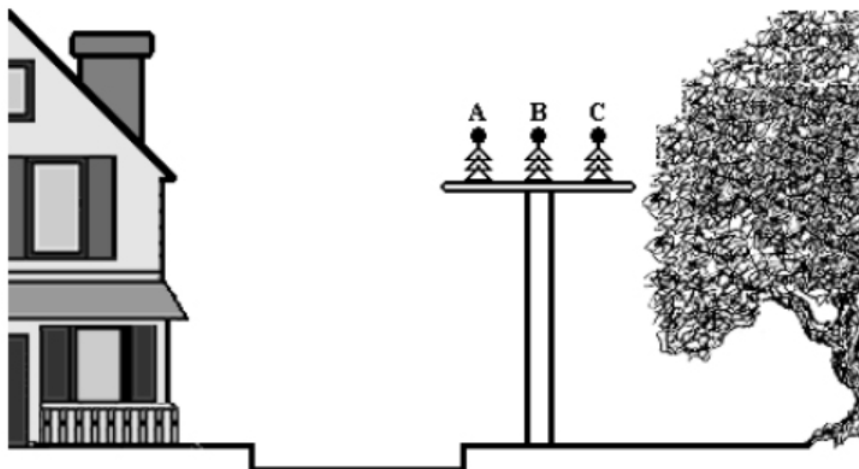


Fig. 2 Circuito Primario Trifásico Aéreo. Obtenido de [13].

Nota. Las fallas AB y BC bifásicas tienen más probabilidades de ocurrir que las fallas AC. Si se consideran fallas monofásicas, las fases A y C tienen más



probabilidades de fallar que la fase B. Es completamente irreal tratar todas las fallas en un estudio de confiabilidad como trifásicas y balanceadas.

2.5 Tipos de Desbalance

A continuación, se describe los tipos de desbalance que existen en una red eléctrica.

2.5.1 Desbalance por fase

"El desbalance de fases ocurre en un sistema eléctrico cuando los voltajes entre líneas no son iguales, y se puede definir como la desviación máxima del voltaje promedio de la línea dividido por el voltaje promedio de la línea, expresado como porcentaje. "Desequilibrio de voltaje Se refiere a fallas de aislamiento. en cargas monofásicas conectadas en circuitos trifásicos, transformadores conectados en triángulo abierto y conductores no conectados. [14]

El desequilibrio de fases puede tener diversas consecuencias perjudiciales. Por un lado, pueden provocar un sobrecalentamiento de los conductores debido a las elevadas corrientes que circulan en las fases más cargadas. El desequilibrio de voltaje, por otro lado, puede provocar un rendimiento deficiente y acortar la vida útil de los componentes generales del sistema eléctrico.

2.5.2 Desbalance de voltaje

"En un sistema trifásico equilibrado, los voltajes de las fases deben ser iguales o casi iguales. El desequilibrio de voltaje es una medida de la diferencia de voltaje entre las fases de un sistema trifásico. " Reduce los voltajes trifásicos, el rendimiento del motor de fase y acorta su vida útil. [15]



En otras palabras, este desequilibrio es la diferencia de voltaje que existe entre dos fases o conductores y entre una tercera fase o conductor. Esto puede ocurrir por desigualdades de impedancia, cambios en la calidad de los equipos reguladores de voltaje, errores de conexión o problemas de mantenimiento y principalmente por la incorporación de nuevas cargas al sistema. En la Fig. 3, se muestra un ejemplo de una onda de voltaje trifásico desequilibrada.

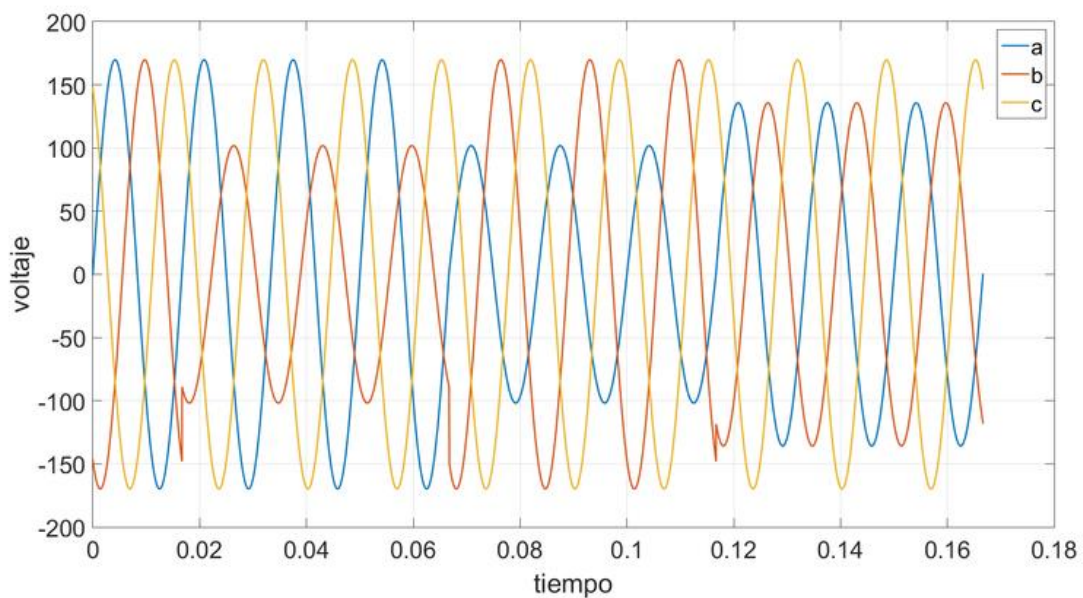


Fig. 3 Voltajes de entrada con desbalance (ABC). Tomada de [16].

2.5.3 Desbalance de corriente

“Normalmente los alimentadores de distribución están compuestos por cargas residenciales, comerciales, industriales y de iluminación donde los picos de demanda no coinciden al mismo tiempo, afectando el equilibrio de corriente.” [17]

“La expansión de las redes residenciales, ya sean grandes complejos residenciales como urbanizaciones, o residencias individuales, que muchas veces se



encuentran desordenadas, se convertirá en un problema creciente que deberá tenerse en cuenta para equilibrar la situación actual” [18].

En la Fig. 4, toma como ejemplo el consumo residencial, que suele depender del comportamiento de los consumidores desplazados en diferentes zonas, lo que dificulta mucho el equilibrio óptimo.

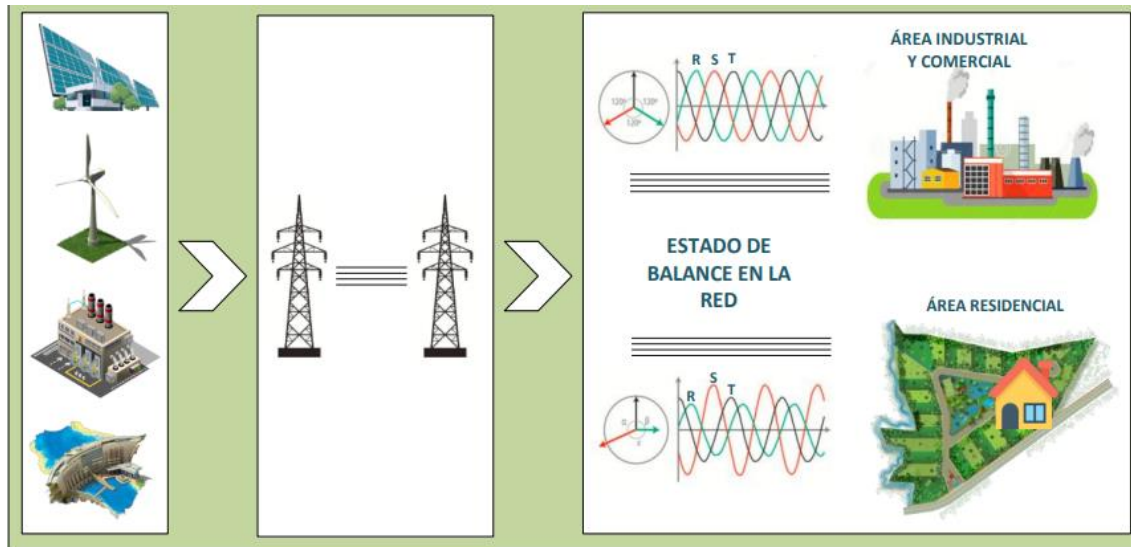


Fig. 4 Estado de balance de red en el sistema de distribución eléctrica. Tomado de [19]

Nota: En las zonas industriales las fases no están desequilibradas y se puede decir que el equilibrio no es difícil, a diferencia de las zonas residenciales donde el equilibrio se vuelve más difícil porque sus cargas cambian constantemente.

2.5.4 Desbalance de Potencia

“El desbalance de potencia en sistemas eléctricos es un fenómeno crítico que puede resultar en pérdidas económicas y operativas significativas. Se define como la disparidad entre la potencia generada y la consumida, causada por variaciones en la



carga o por fallos en equipos de generación o distribución. Este problema puede afectar la estabilidad del voltaje y la calidad de la energía, incrementando el riesgo de interrupciones en el suministro eléctrico y daños a equipos sensibles. Para mitigar estos efectos, se emplean técnicas avanzadas de monitoreo y control, así como estrategias de gestión eficiente de la carga y la generación.” [20]

2.6 Causas y Consecuencias de los desbalances

“En la mayoría de estos procesos de transmisión, distribución y comercialización se utilizan redes aéreas de cables desnudos, lo que hace que el sistema eléctrico sea vulnerable a cierto tipo de perturbaciones eléctricas como sobretensiones, subtensiones, micro interrupciones y apagones, que en la mayoría de los casos pueden ser causados. debido a razones externas.” [20]

“Este tipo de interferencias también puede ocurrir debido a causas internas de la instalación eléctrica, como las interferencias causadas por un desequilibrio de carga monofásica en la barra colectora principal del cuadro de distribución, que puede tener un impacto negativo en la calidad de la energía.” [20].

Las causas del desequilibrio de carga en los sistemas eléctricos son diversas y pueden atribuirse a factores tanto externos como internos. Una de las causas más comunes del desequilibrio de carga es la distribución desigual en el sistema de energía.

“Los problemas que afectan la calidad de la energía analizada son diversos (desequilibrios de tensión, caídas, parpadeos, transitorios y distorsión armónica), cada uno de los cuales tiene diferentes causas y consecuencias, así como soluciones.” [21]

“Las perturbaciones se dividen en: De larga duración o permanentes:
Desequilibrio de tensión fluctuante Interrupciones de larga duración (duración ≥ 1



minuto) Armónicos de tensión Armónicos de corriente Huecos de tensión Cambios de tensión de larga duración (subtensión y sobretensión) Interrupciones de corta duración (duración Tiempo <1 minuto) Lento: caída o caída de voltaje (sag) Aumento de voltaje (swell) Cambio rápido de frecuencia: sobretensión transitoria.” [21]. La Fig. 5, muestra el rápido cambio de voltaje.

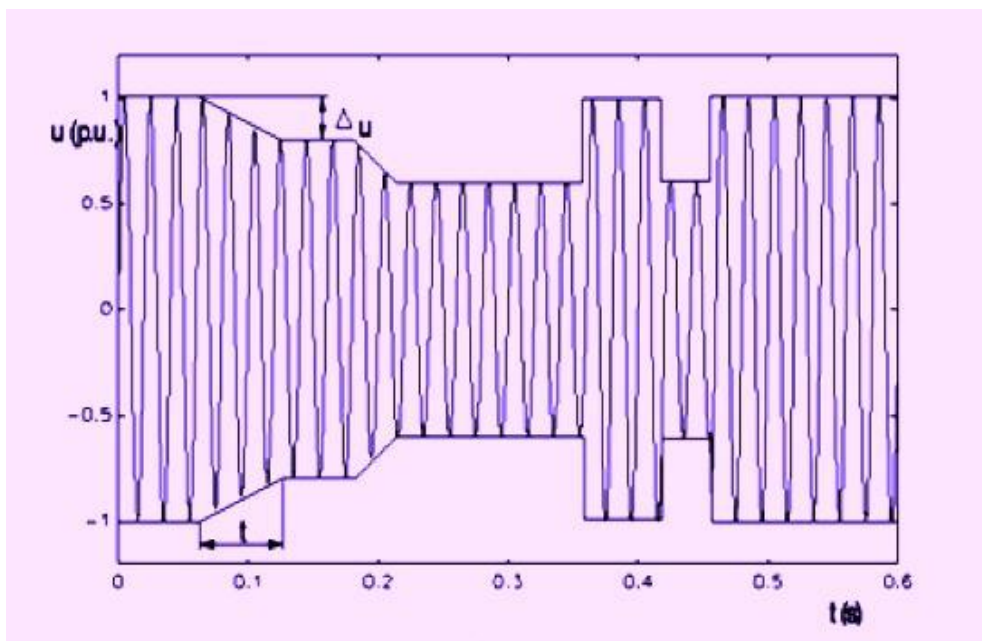


Fig. 5 Variación rápida de voltaje. Extraído de [22].

Nota. El voltaje puede cambiar rápidamente cuando se conectan y desconectan cargas y se producen operaciones en las líneas de la red.

Los desequilibrios de carga en los sistemas eléctricos pueden tener una variedad de consecuencias negativas a corto y largo plazo, incluidas sobrecargas y fallas de equipos, pérdidas de eficiencia y reducciones en la capacidad de transmisión, problemas de calidad de la energía y desperdicio de energía. Por lo tanto, es importante



equilibrar correctamente la carga de su sistema eléctrico para garantizar un funcionamiento óptimo y confiable.

2.6.1 Desbalance en Alimentadores Primarios

En los alimentadores primarios los desbalances más comunes que se generan son:

Desbalance de corriente, que por lo general la causa más común es la distribución desigual que existe entre las fases y el efecto que causa entre ellas es la sobrecarga de las fases calentamiento de los conductores y el aumento de pérdidas de energía.

Desbalance de Potencia, la causa más común que provoca este tipo de desbalance es la carga activa (real), y reactiva (inductiva o capacitiva) distribuida desigualmente entre las fases, el efecto que provoca la misma tiene que ver con la ineficiencia de energía, la sobrecarga de los elementos del sistema y problemas en la calidad de la energía.

2.7 Pérdidas de energía eléctrica

“Los sistemas eléctricos presentan pérdidas causadas por fenómenos físicos ocurridos durante el desarrollo de las condiciones normales y normales para la transmisión de energía eléctrica, así como pérdidas por factores externos no técnicos.” [23].

Estas pérdidas se dividen en: pérdidas técnicas y pérdidas no técnicas.



2.7.1 Pérdidas técnicas

“Las pérdidas no técnicas son electricidad que ha sido entregada pero no facturada, lo que se traduce en pérdidas financieras directas para las empresas distribuidoras” [23].

“Las pérdidas en lastres son constantes y se consideran pérdidas técnicas y son causadas por el efecto Joule de la circulación de corriente a través del serpentín de lastre” [24].

“Las pérdidas técnicas que se muestran en la Fig. 6, corresponden a energía desperdiciada en los componentes del sistema eléctrico; son inherentes al proceso de conversión y transmisión de energía eléctrica” [25].

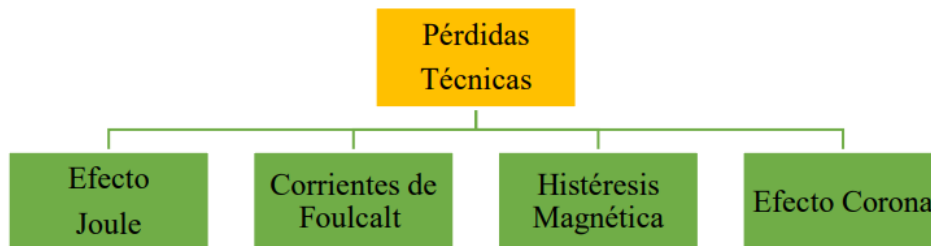


Fig. 6 *Pérdidas Técnicas. Tomada de [26]*

"En las redes BV de los sistemas de distribución, las pérdidas más representativas son causadas por la resistencia al flujo de corriente en los conductores (llamado efecto Joule); hay que tener en cuenta que pueden minimizarse a un rango aceptable mediante métodos de optimización. Valores." [27].



2.7.2 Pérdidas no técnicas

“Las pérdidas no técnicas son electricidad que ha sido entregada pero no facturada, lo que se traduce en pérdidas financieras directas para las empresas distribuidoras” [23]. La Fig. 7, muestra la clasificación de las pérdidas no técnicas.

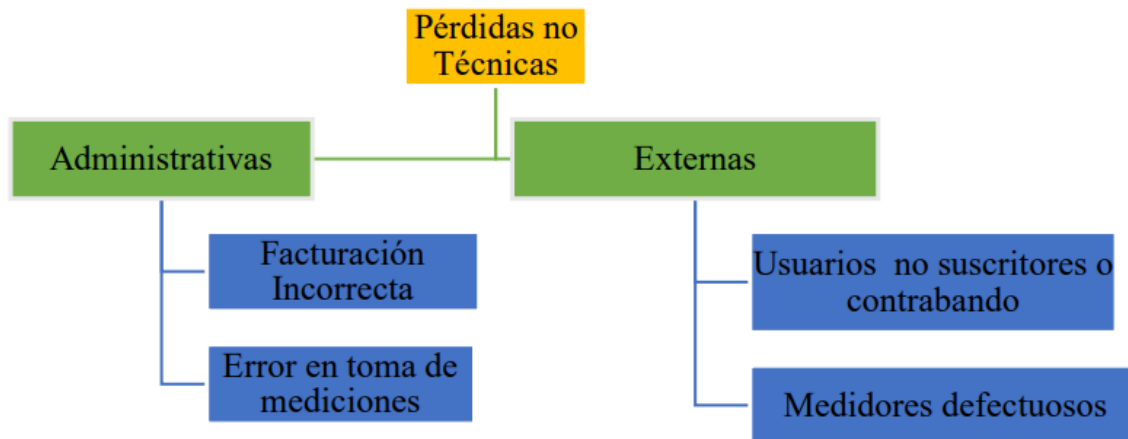


Fig. 7 Pérdidas no Técnicas. Tomada de [28].

2.8 Perturbación eléctrica

“Son todos fenómenos o eventos que afectan las características de un suministro eléctrico, afectando el voltaje, la corriente o la frecuencia, y pueden tener origen en una central eléctrica, sistema de distribución o en las propias instalaciones del usuario.” [20].

En otras palabras, la perturbación eléctrica se refiere a cambios no deseados que ocurren en un sistema de distribución eléctrica. Estas interferencias pueden ser causadas por una variedad de factores y pueden afectar negativamente el funcionamiento de equipos eléctricos y electrónicos.



2.8.1 Regulación ARCERNNR 002/20

“De acuerdo con el vigente Reglamento ARCERNNR sobre Calidad de los Servicios Eléctricos para la Distribución y Comercialización de Electricidad (2020), considera los siguientes índices e indicadores para evaluar la calidad de la prestación del servicio energético” [29].

2.8.2 Calidad del servicio

“Una serie de atributos técnicos y comerciales inherentes a la prestación de servicios de energía eléctrica constituyen las condiciones bajo las cuales se debe desarrollar este servicio, divididos en calidad del producto, calidad del servicio técnico y calidad del servicio comercial.” [2].

2.9 Análisis del desbalance

El análisis de un desbalance de carga consiste en evaluar las condiciones en las que la carga eléctrica se distribuye de manera desigual en un sistema eléctrico trifásico. Este análisis se realiza para identificar y abordar los efectos adversos que puede tener el desbalance en el sistema.

El análisis de desbalance de carga consiste nada más en realizar una serie de experimentos o una serie de pruebas en cuanto al alimentador que estamos estudiando, con el fin obtener resultados que muestren una mejora en cuanto al desbalance generado en el sistema.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente capítulo describió en detalle la metodología empleada para llevar a cabo esta investigación, así como también los materiales y recursos utilizados en el proceso.

3.1 Descripción técnica

El sistema de subtransmisión de EMELNORTE opera a 69 kV y está compuesto por 17 subestaciones reductoras de 69 kV a 13,8 kV, estratégicamente ubicadas. Dentro de estas se encuentra la Subestación Cotacachi, emplazada en las instalaciones de EMELNORTE en la calle Alfredo Albuja Galindo entre Pasaje Uno y Morales, como se ilustra en la Fig. 8. Esta subestación posee una red de distribución en medio voltaje de 13,8 kV con una longitud total de 18,26 km. La Subestación Cotacachi cuenta con 890 medidores en total, de los cuales 129 son monofásicos, 710 bifásicos y 51 trifásicos. La red de media tensión monofásica tiene una longitud de 12,53 km, la bifásica de 0,391 km y la trifásica de 5,35 km, totalizando los 18,26 km mencionados.



Fig. 8 Ubicación de la Subestación Cotacachi



La Subestación Cotacachi se conecta mediante dos líneas de subtransmisión: Ibarra-Bellavista y Bellavista-Cotacachi, para asegurar su funcionamiento eficiente. Cuenta con 5 alimentadores para la distribución de energía. El estudio de desbalance de carga se realizó en el alimentador Cotacachi N°2, que suministra energía eléctrica a 2.687 abonados. En la Fig. 9, se ilustra el circuito monofásico de esta subestación, alimentado desde la línea proveniente de Bellavista. En la Fig. 10 y la Fig. 11, se muestra el esquema unifilar de la subestación Cotacachi a partir de subestación Ibarra-TransElectric (Fig. 11.a), y la alimentación conjuntamente con la subestación Cotacachi (Fig. 12.b).

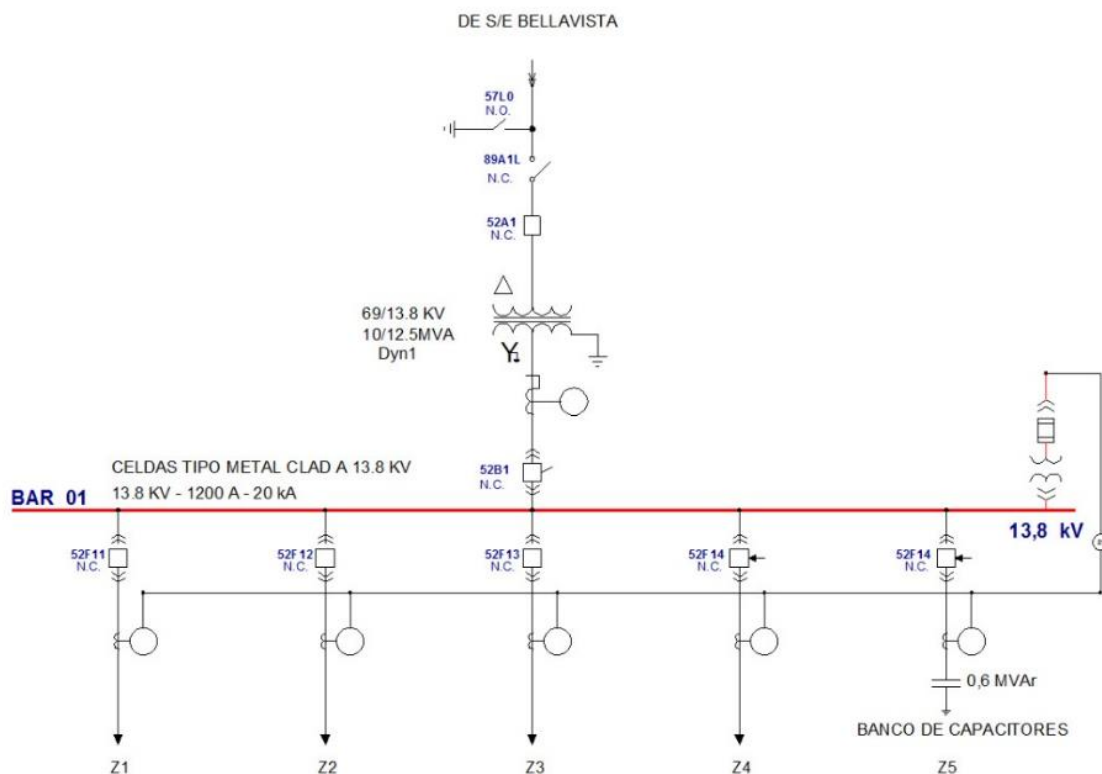


Fig. 9 Subestación Cotacachi. Tomada de [32]

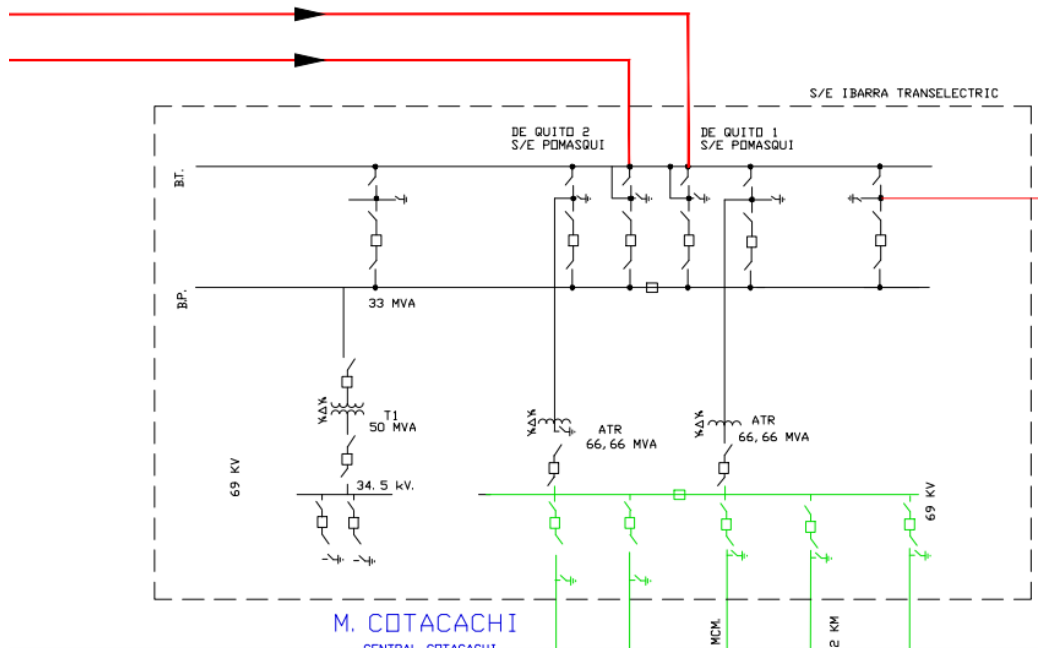


Fig. 10 Esquema unifilar Subestación Cotacachi a). Tomada de [32].

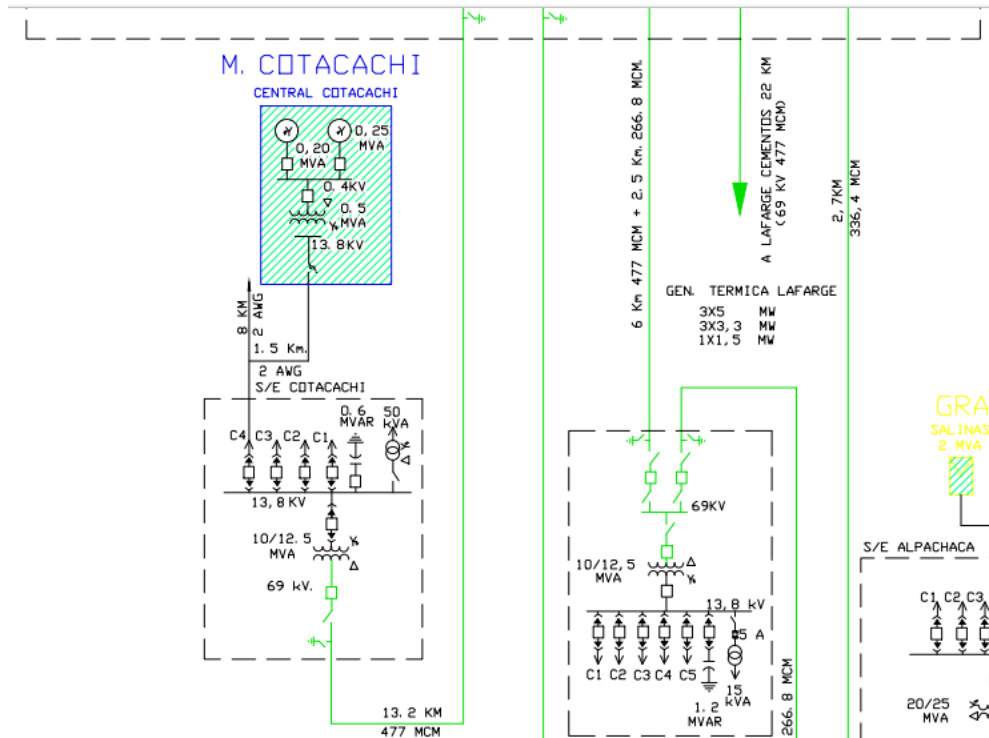


Fig. 11 Esquema unifilar Subestación Cotacachi b). Tomada de [32].



3.2 Metodología

El enfoque metodológico empleado en este proyecto de investigación se caracteriza por su diversidad de métodos, los cuales se aplicaron de manera secuencial y complementaria.

En una primera etapa, se empleó el método documental con el propósito de realizar una síntesis de la información recopilada. Esto proporcionó una base sólida de información relevante sobre el tema de investigación.

Esta aproximación combina elementos de investigación exploratoria lo cual se obtuvo un conocimiento detallado y definido acerca del tema. Además, se incorporó el método observacional, que desempeñó un papel fundamental en la obtención de datos en su contexto natural conjuntamente con la investigación de campo contribuyendo de manera significativa a la comprensión de los resultados. Durante el proceso de análisis de desbalance de carga, se aplicó el método inductivo, basado en la información recopilada durante la investigación de campo, y se empleó el método de estudio de casos para enfocarse en situaciones específicas relacionadas con el tema de estudio.

En segunda instancia, se recurrió al método deductivo en combinación con experimentos controlados por computadora para realizar simulaciones y experimentos virtuales, lo que permitió obtener conclusiones específicas en cada caso y validar o refutar los resultados encontrados. Para llevar a cabo el proceso de balanceo de cargas, se optó por la aplicación de una investigación descriptiva. Este enfoque resultó fundamental para proporcionar un análisis detallado del fenómeno bajo estudio, abordando tres preguntas esenciales: qué está ocurriendo, cómo está ocurriendo y cuál es la amplitud de dicho fenómeno.



Esta metodología permitió la manipulación de variables independientes durante el proceso de simulación y la observación detallada de su comportamiento, lo que resultó fundamental para establecer relaciones de causalidad de manera efectiva.

3.2.1 Estudio Técnico

Para el caso del análisis del desbalance, el estudio técnico consta de un análisis detallado del estudio actual del alimentador, esto implica evaluar la distribución de carga entre las diferentes fases del sistema eléctrico y determinar si existe algún desbalance.

Con base a las simulaciones que se realizan, se debe identificar las fases que se encuentran desbalanceadas, esto corresponde a comparar las corrientes de carga en cada fase y determinar si hay una diferencia significativa.

La evaluación del impacto que puede causar las soluciones propuestas en el desbalance de carga implica realizar cálculos que determinen como afectara la propuesta de mejora a las cargas y al balance del sistema. Esto de igual manera nos ayuda a comprobar el porcentaje de mejora que ha tenido esa propuesta.

3.3 Procedimiento Integral

Para llevar a cabo la recopilación inicial de datos, se accedió a la documentación técnica relacionada con la red de distribución, con el propósito de adquirir una comprensión general de la disposición de las líneas y los equipos. Además, se obtuvieron los planos completos del alimentador para respaldar la inspección en el terreno.

Durante la inspección en el campo, se procedió a la identificación de las fases de medio voltaje, así como de los componentes asociados, como transformadores en especial monofásicos debido a que el estudio realizado de desbalance se da por causa



de estos transformadores. Cabe destacar que EMELNORTE proporcionó un identificador de fases que agilizó considerablemente el trabajo de campo. Simultáneamente, se llevó a cabo una verificación exhaustiva de la información recolectada, cotejándola con los datos técnicos y los planos suministrados por la empresa.

Este proceso garantizó la coherencia y precisión de los hallazgos. En la Fig. 12, se muestra un anexo del trabajo de campo realizado. Finalmente, se elaboró un flujo de carga con el software CYMDYS para identificar la mejor alternativa que minimice el desbalance en el alimentador analizado.

Se realizaron simulaciones para modelar distintos escenarios de desbalance en la red y se fue comparando cada uno respecto al estado actual, a fin de determinar la opción más conveniente, que reduzca el desbalance lo máximo posible.



Fig. 12 Trabajo de campo del alimentador Cotacachi



La validación de los resultados se realizó mediante cálculos de equilibrio y desbalance de corriente y potencia, igual manera teniendo en cuenta el factor de desbalance de los mismos parámetros, obteniendo una alternativa de mejoramiento para el caso más crítico de desbalance. En la Fig.13, se muestra un flujograma del procedimiento que se desarrolló en el trabajo de integración curricular.

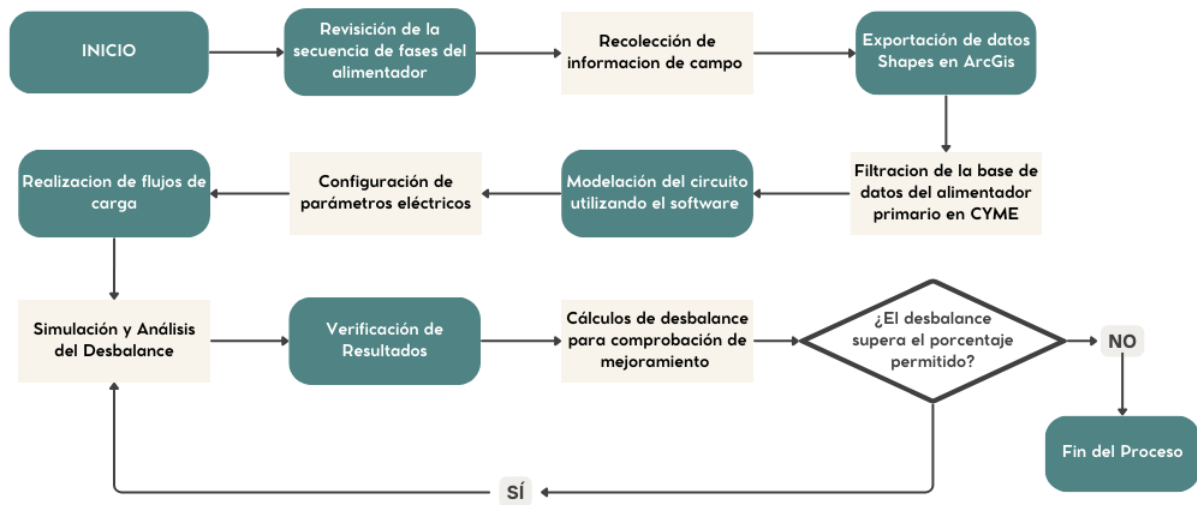


Fig. 13 Flujograma de la metodología

3.3.1 Desconexiones imprevistas del Alimentador

En el análisis del desbalance de carga, si bien es cierto los transformadores que tiene conexión Y poseen una corriente de retorno en el neutro, lo cual al existir desbalance esta corriente afecta a todo el sistema eléctrico, es decir que la corriente de retorno de un transformador se refiere a la corriente que circula a través del conductor neutro para completar el circuito eléctrico. Sin embargo, en algunas situaciones, el neutro puede llevar corriente eléctrica, lo cual puede ser peligroso si no se toman las medidas adecuadas para prevenirlo.



Esta consecuencia de este fenómeno es que puede provocar fluctuaciones a los elementos de protección del sistema e incluso dañar los posibles reconectores que poseen en el alimentador. En este caso para el alimentador Cotacachi No.2 existe un único reconector, por lo cual, si este fuese afectado por una sobre corriente del neutro es posible que la sobrecarga dañe el sistema de protección provocando una desconexión permanente al suministro de energía eléctrica del sector.

3.4 Materiales

EMELNORTE proporcionó una variedad de recursos esenciales para llevar a cabo la investigación en el alimentador Cotacachi. Estos recursos incluyeron registros de eventos, planos y documentación técnica, así como un identificador de fases.

Además, se suministraron herramientas de seguridad, equipos de comunicación, vehículos y planos, así como también herramientas manuales necesarias para la investigación en el campo. Para llevar a cabo el análisis del alimentador y la verificación de la información adquirida, se utilizó un software especializado, que también fue proporcionado por EMELNORTE. Esto incluyó el programa ArcGis, que se utilizó para la creación de planos y para identificar la ubicación de los transformadores, y el programa CYMDYS, que se empleó para proponer alternativas relacionadas con el balance de carga.

Sistema SPI-III: Este sistema es un identificador de fase que tiene como finalidad conocer con precisión cada fase en cualquier punto de nuestra red trifásica. La identificación se llevó a cabo en varias etapas individuales, y nuestro enfoque principal fue lograr una identificación clara y sin ambigüedades de cada fase, así como medir el ángulo de desfase, que resultó ser útil, aunque no esencial en nuestro caso. En la Fig. 14, se muestra el identificador de fase.



La igualación o pareo de fases tiene como objetivo verificar la correspondencia o concordancia de fases en ambos lados de un equipo o unión. Puede realizarse en una o más fases individuales y en uno o varios circuitos. Existen dos tipos de concordancia de fases:

Secuencial: Sólo se usa un dispositivo para realizar dos mediciones secuencialmente.

Simultánea: Implica que dos dispositivos son usados al mismo tiempo, uno en cada extremo.

MU046-SPA-ENG Versión 3



Fig. 14 Módulo Identificador de Fase.

En este sistema se instala un módulo de referencia fijo de manera permanente en el área que se necesita cubrir. Este módulo lleva a cabo mediciones de fase y transmite los resultados al servidor central. En el campo, se emplea un módulo de medición para medir los ángulos de fase. Este módulo de visualización muestra los resultados del proceso de medición, los almacena en su memoria interna y realiza



ajustes por posibles desfases, utilizando la comunicación Bluetooth para conectarse al módulo de medición.

Para la identificación de las fases en tiempo real, el módulo de visualización debe estar conectado a Internet, estableciendo una comunicación con el servidor central. Una vez que los datos adquiridos se comparan con los datos en el servidor central, la pantalla mostrará los resultados de la identificación. Este proceso se realiza en cuestión de segundos y se actualiza cada segundo.

Software CYMDIST: Este programa agrupa todas las herramientas de modelado y análisis necesarias para realizar los diversos tipos de simulaciones involucradas en la planificación del sistema de distribución eléctrica. Los motores de cálculo admiten modelos de distribución balanceados o desbalanceados que se construyen con cualquier combinación de fases y funcionan en configuraciones de tipo radial, anillado o mallado. En la Fig. 15, se muestra la interfaz del programa CYMDYS. Este programa comprende los siguientes análisis:

- Flujo de carga desbalanceado
- Distribución y estimación de carga
- Análisis de fallas
- Flujo de falla/cortocircuito
- Localizador de fallas
- Falla serie y falla simultánea
- Caídas de tensión
- Balance de carga
- Dimensionamiento y ubicación óptima del condensador



- Arranque de motor
- Análisis por lotes

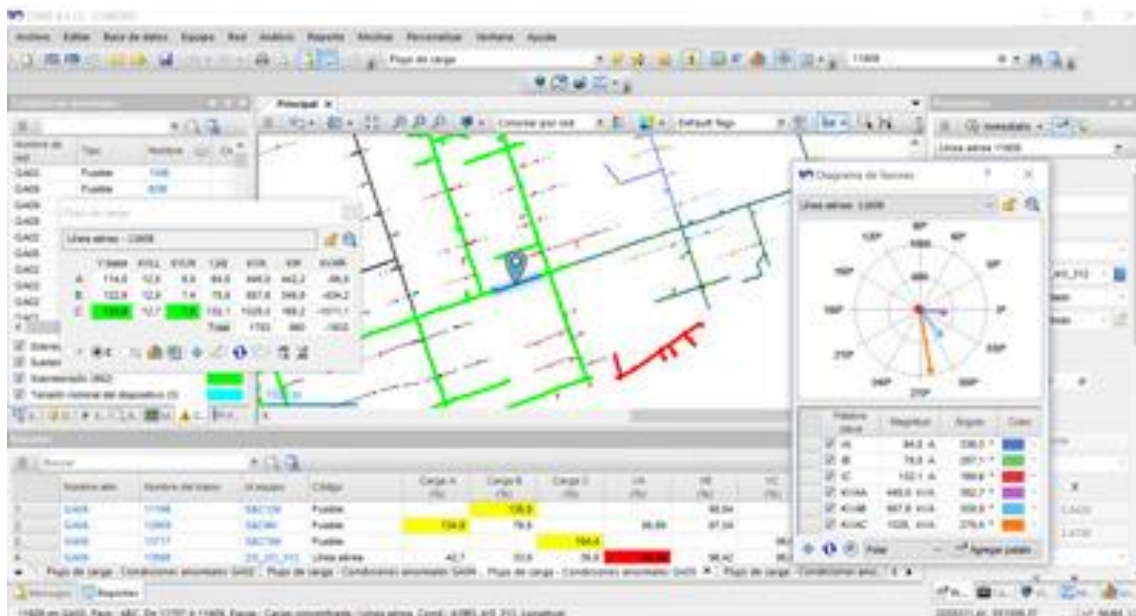


Fig. 15 Interfaz del programa CYMDYS.

El rendimiento en régimen permanente del sistema eléctrico en diversas situaciones de funcionamiento fue simulado mediante el análisis de flujo de carga de CYMDIST. Este análisis representó la piedra angular en la planificación, diseño y operación de cualquier red eléctrica. Incluyó herramientas para evaluar tanto la caída de tensión balanceada como desbalanceada, con un enfoque especial en sistemas radialmente estructurados o parcialmente mallados, y proporcionó un algoritmo completo para redes trifásicas desequilibradas, calculando así los voltajes de fase.

Modelo matemático: Este programa, que utiliza el método Newton-Raphson para el flujo de carga desequilibrado, aborda aspectos como redes subterráneas en zonas urbanas, instalaciones de bajo voltaje y sistemas de subtransmisión conectados



a redes de distribución. Los resultados de este análisis comprehensivo abarcan aspectos como tensión, corriente, factor de potencia, pérdidas, situaciones anormales y desequilibrios, y pueden ser evaluados tanto para todo el sistema como para ubicaciones específicas dentro de la red.

Dado que consta de varias aplicaciones, las funciones de análisis de fallos en CYMDIST proporcionan respaldo en la evaluación de cuestiones relacionadas con fallos en el sistema de distribución. En este análisis, se integran tres métodos para el cálculo de cortocircuitos: el convencional, el estándar ANSI, y los estándares IEC 60909© e IEC 61363©.

Todos estos métodos se basan en modelos de fase múltiple, lo que les permite abordar tanto sistemas complejos equilibrados como desequilibrados, así como situaciones monofásicas, bifásicas o trifásicas, además de sistemas de potencia radial o fuertemente entramados.

El análisis de balance de carga se usó para determinar qué cargas o tomas laterales podían reconectarse a diferentes fases con el fin de minimizar las pérdidas de kW o equilibrar la corriente, la carga o la tensión. Esto informó sobre una serie de cambios individuales en la red y sobre la mejora de los objetivos con cada cambio.

3.5 Ecuación de Desequilibrio

El análisis de balance de carga tiene como propósito identificar cuáles cargas deben ser reconectadas a diferentes fases con el fin de reducir las pérdidas de potencia en kilovatios (kW) o equilibrar la corriente, la carga y la tensión. Este proceso identifica una serie de modificaciones individuales en la red y destaca las mejoras logradas en los objetivos con cada cambio.



Equilibrio de las cargas (kVA): Minimiza el factor de desequilibrio kVA en las ubicaciones seleccionadas. Para una ubicación dada, el factor es la mayor de todas las fases. Para cada fase, el factor de desequilibrio se calcula usando:

$$\text{Fact. desequilibrio kVA}(\%) = \frac{kVA \text{ circulante} - kVA \text{ circulante promedio}}{kVA \text{ circulante}} * 100 \quad [1]$$

3.5.1 Ecuaciones de Desbalance de carga

Para cuantificar numéricamente el grado de desbalance presente en un alimentador trifásico, se emplean diversas fórmulas que comparan los valores máximos, mínimos y promedio de estas variables eléctricas.

A continuación, se presentan algunas de las fórmulas más utilizadas para el cálculo porcentual del desbalance de corriente, tensión y potencia. También se muestra la ecuación del factor de desbalance de tensión.

Desbalance de Corriente: La fórmula más utilizada para calcular el desbalance de corriente en un sistema eléctrico trifásico es:

$$\text{Desbalance de Corriente} (\%) = (I_{max} - I_{avg}) / I_{avg} * 100 \quad [2]$$

Donde:

I_{max} = Corriente máxima medida entre las 3 fases (en Amperios)

I_{avg} = Corriente promedio entre las 3 fases (en Amperios)

Esta fórmula es igual al factor de desequilibrio, permite diagnosticar y solucionar problemas de distribución asimétrica de carga en sistemas trifásicos de distribución



eléctrica. Mientras más cercano a 0% sea el desbalance de corriente, más equilibradas estarán las corrientes en las 3 fases. Valores por encima del 10% se consideran altos.

Desbalance de Potencia: Para calcular el desbalance de potencia se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Desbalance de Potencia} = \frac{\sqrt{(PA - PB)^2 + (PB - PC)^2 + (PC - PA)^2}}{P_{\text{promedio}} * \sqrt{3}} * 100 \quad [3]$$

Donde:

PA, PB, PC: Son las potencias activas en cada una de las fases (A, B y C, respectivamente) del alimentador primario.

Ppromedio: es la potencia activa promedio en el alimentador primario.

Esta fórmula es similar a la que se utiliza para calcular el desbalance de potencia en sistemas trifásicos, pero se ajusta para tener en cuenta el factor de raíz de 3 debido a que se está calculando sobre la potencia promedio en lugar de la suma de las potencias.



CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANALISIS

4.1 Modelación del alimentador Cotacachi Circuito No.2

La modelación de este circuito implica la creación de un modelo computacional que replica las condiciones reales del sistema, permite simular y analizar el comportamiento de los parámetros eléctrico.

Durante esta exposición, se muestra los pasos esenciales para llevar a cabo la modelación del circuito 2 del alimentador Cotacachi. Esto incluye la recolección de datos esenciales, la utilización de software especializado para la simulación, y la interpretación de los resultados obtenidos. Analizaremos cómo se identifican y mitigan posibles problemas como sobrecargas, desbalances, caídas de tensión, y pérdidas de energía, con el objetivo de optimizar el funcionamiento del sistema.

4.1.1 Exportación del Alimentador Primario en ArcGIS

Para la exportación del alimentador primario es necesario seguir una serie de pasos para lo cual se explican a continuación.

1. Preparación del Proyecto en ArcGIS

- **Abrir ArcGIS:** Inicia el software ArcGIS y abre un nuevo proyecto.
- **Cargar los Datos:** Importa los datos necesarios, como las capas de red eléctrica, subestaciones, Acometidas, puntos de carga, puesto de transformadores, luminarias, red de media tensión y red de baja tensión aéreas y subterráneas.



2. Identificación del Alimentador Primario

- **Seleccionar la Capa de Red Eléctrica:** En el panel de contenido, selecciona la capa que contiene la red eléctrica primaria.
- **Filtrar el Alimentador Primario:** Es una herramienta de consulta o de selección para identificar y filtrar el alimentador primario específico. Esto puede implicar el uso de atributos como el nombre o el código del alimentador. En el caso del alimentador a analizar utilizamos el código ALIM-1300050T02 para la identificación.

3. Creación de un Subconjunto de Datos

- **Crear una Capa de Subconjunto:** Con la selección activa del alimentador primario, se crea una nueva capa basada en la selección. Esto se puede hacer clic derecho sobre la capa seleccionada y elegir la opción "Crear Capa a partir de Selección" (Create Layer from Selected Features).
- **Guardar la Nueva Capa:** Guardar esta nueva capa como un archivo independiente para facilitar su manejo.

4. Edición y Limpieza de Datos

- **Revisar y Editar:** Verificar que todos los elementos del alimentador primario estén correctamente seleccionados. Realizar cualquier edición necesaria para asegurar que la capa es precisa y completa.
- **Eliminar Elementos Irrelevantes:** Si hay elementos no relacionados con el alimentador primario, hay que eliminar para mantener los datos limpios.



5. Exportación de los Shapes

- **Selección de la Capa del Alimentador Primario:** En el panel de contenido, se selecciona la capa que contiene el alimentador primario.
- **Exportación a Shapefile:** Clic derecho en la capa y seleccionar "Data" > "Export Data". Configura las opciones de exportación, asegurándose de seleccionar el formato "Shapefile" (.shp).
- **Definir Ubicación y Nombre:** Especificar la ubicación y el nombre del archivo shapefile de salida. Asegurarse de guardar en una carpeta adecuada.

6. Verificación del Shapefile Exportado

- **Cargar el Shapefile en un Nuevo Proyecto:** Abrir un nuevo proyecto en ArcGIS y cargar el shapefile exportado para verificar que todos los datos se hayan exportado correctamente.
- **Revisar Atributos y Geometría:** Verificar que la geometría y los atributos de los elementos sean correctos y que no haya errores en los datos exportados.

7. Herramientas y Funcionalidades Utilizadas de ArcGis

- **Herramienta de Selección:** Para filtrar y seleccionar los elementos del alimentador primario.
- **Consulta por Atributos:** Para identificar el alimentador primario basado en atributos específicos.



- **Editor de Capas:** Para crear nuevas capas a partir de selecciones y realizar ediciones necesarias.
- **Exportación de Datos:** Para exportar la selección a un shapefile.

En todo este proceso, es crucial asegurar que los metadatos del shapefile exportado estén completos, incluyendo detalles sobre el origen de los datos y cualquier manipulación realizada. Asimismo, es fundamental verificar la integridad de los datos exportados antes de utilizarlos en otros análisis.

Tomando en cuenta este procedimiento, en la Fig. 16 se presenta el resultado de la exportación del alimentador primario Cotacachi No.2, con los datos necesarios para su modelado y análisis en el siguiente programa. A continuación, se detallan cada uno de los elementos exportados.

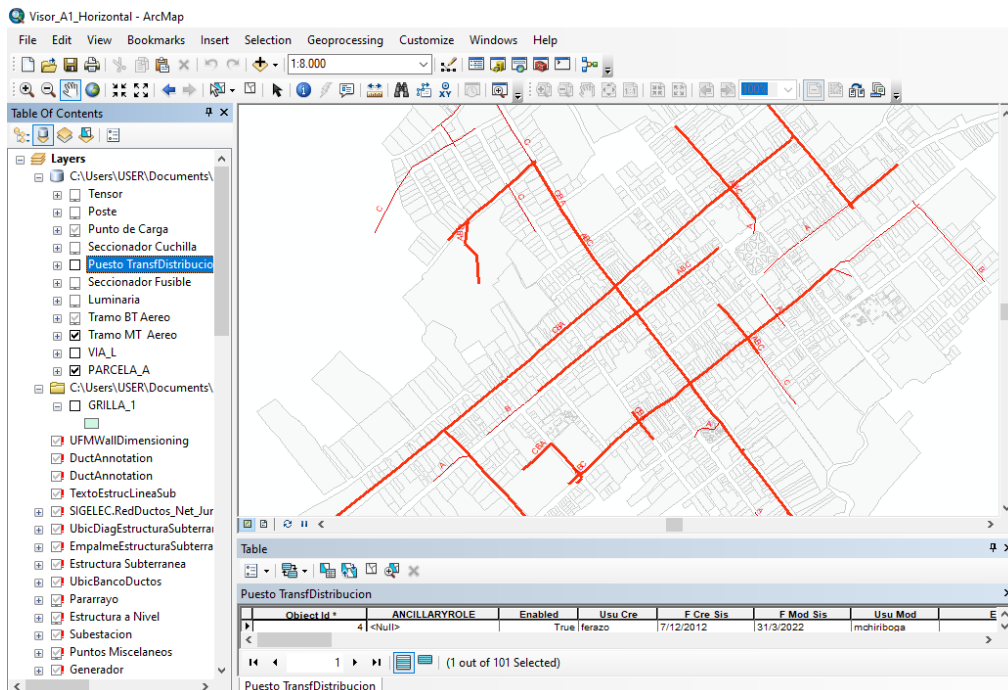


Fig. 16 Circuito Exportado en ArcGis.



En la Fig. 17, se muestra el puesto de cada transformador tanto trifásicos como monofásicos en todo el circuito, se representa con símbolo triangular los transformadores monofásicos y los triángulos pintados en negrita en representación de los transformadores trifásicos. De igual manera se representa con un código a cada transformador tanto trifásicos como monofásicos como se muestra en siguiente ejemplo;

5050 1C10T En Donde: 5050 es el código del transformador, 1C es el número de fase y la fase de conexión, 10T es el número de KVA que tiene el transformador

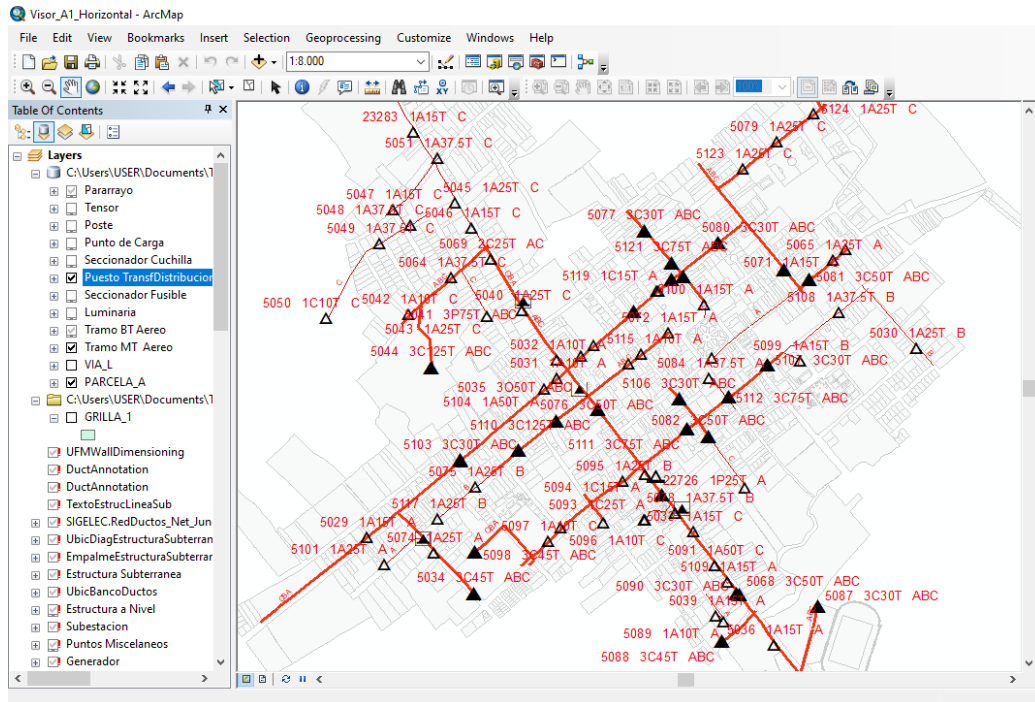


Fig. 17 Puesto de transformadores.

En la Fig. 18 se muestra la exportación de la red de baja tensión junto con sus respectivos puntos de carga. En la imagen, la red de baja tensión está representada en color azul, las acometidas en cada poste están representadas en color verde, y los puntos de carga están indicados por el símbolo (M) de color verde.



Con todos estos datos se procede a realizar la modelación del circuito en el programa CYME.

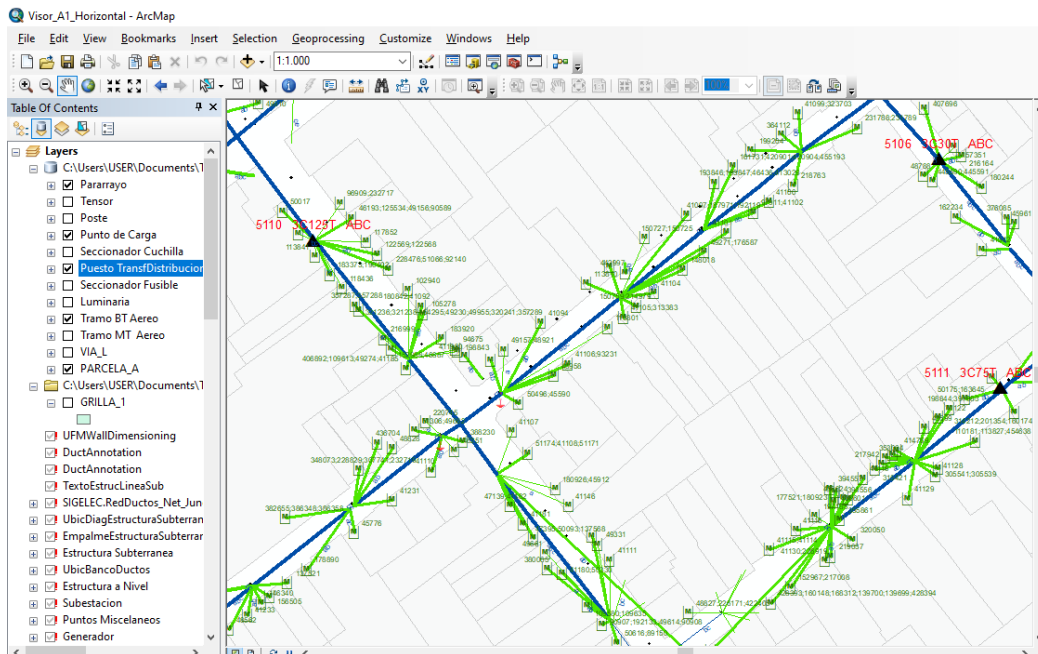


Fig. 18 Red de BT Aérea y Puntos de Carga en ArcGis.

4.1.2 Modelación en el Programa CYMDIST

Para la modelación del circuito cargamos la base de datos de los alimentadores primarios que fue proporcionada por EMELNORTE y se realiza las vistas imbricadas de cada uno de los transformadores que posee el alimentador para el caso del alimentador Cotacahi No.2 posee un total de 101 transformadores, 30 transformadores trifásicos de fase ABC, 1 transformador conectado en la fase AC, 24 transformadores monofásicos conectados en la fase A, 8 conectados en la fase B y 38 conectados en la fase C. en la Fig. 19, se muestra el circuito cargado en el programa CYME.

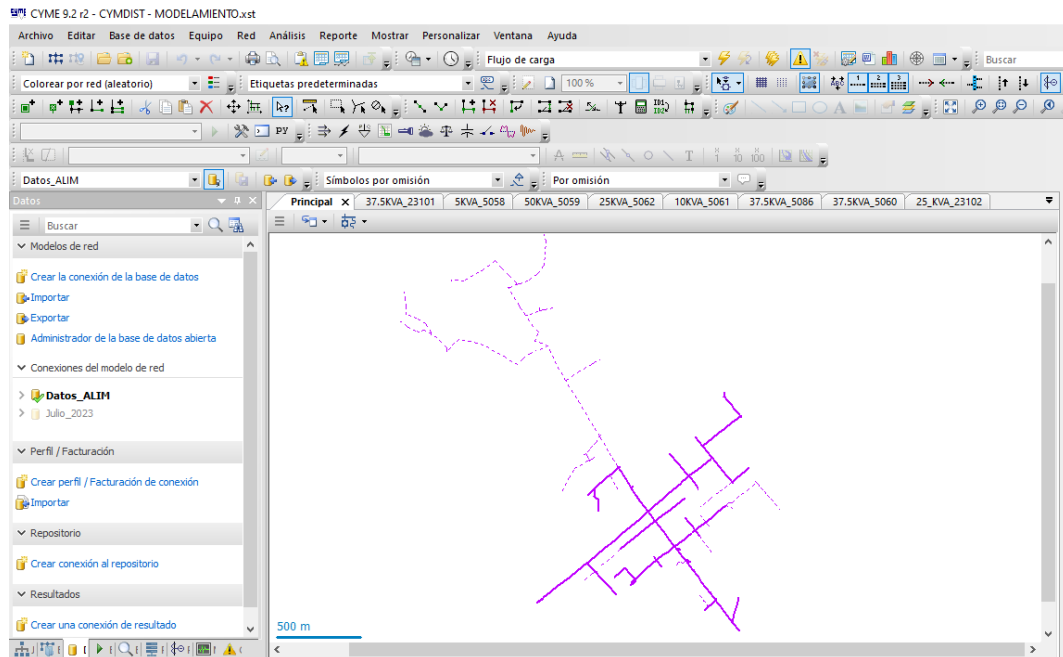


Fig. 19 Alimentador Cotacachi No.2 Importado en CYME

Para las vistas imbricadas realizamos el siguiente procedimiento, en la Fig. 20, se muestra el resultado de la vista imbricada con todos los pasos explicados a continuación.

1. En el programa damos click en agregar red, buscamos un transformador para el ejemplo tomamos un monofásico.
2. Para nuestra fácil identificación como nombre colocamos la potencia del transformador y el código del mismo.
3. El tipo de red que seleccionamos es Red Secundaria.
4. En la parte de grupos de redes el Área es EmelNorte.
5. Nivel de tensión para el tipo monofásico es 120V/240V y región Sur.
6. Para el despliegue de la red colocamos Mostrar dentro de una vista imbricada.



7. Nombre de igual manera colocamos la potencia y el código del transformador.
8. Finalmente, en estilo de vista colocamos Referenciada Geográficamente.

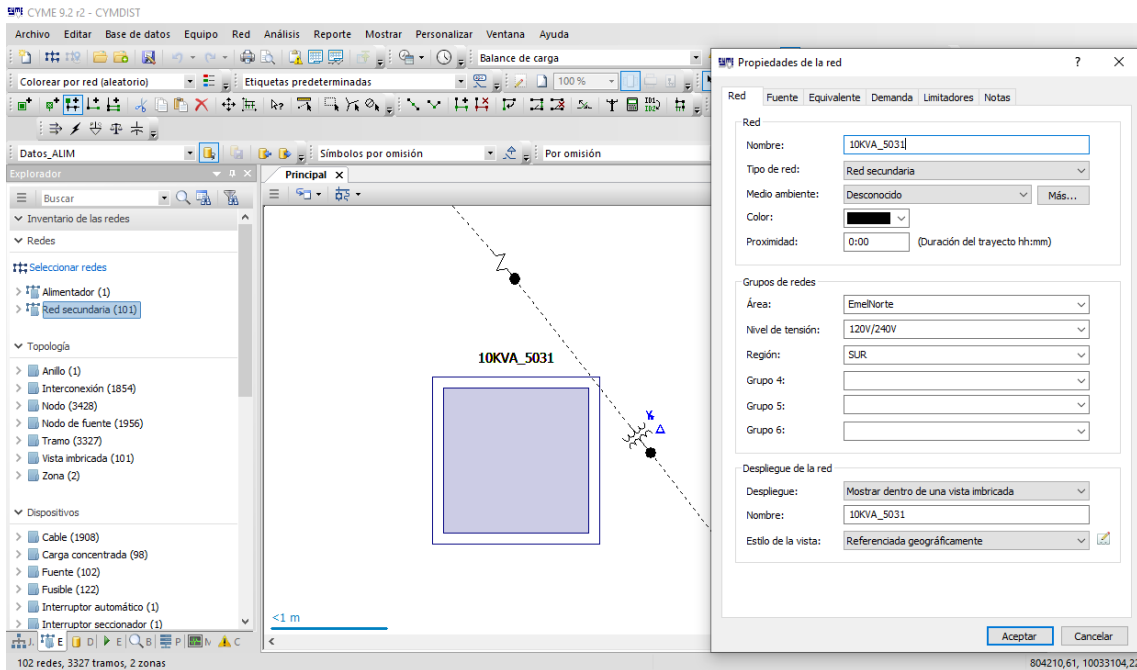


Fig. 20 Vista imbricada del Transformador

Este procedimiento se realizó para cada uno de los transformadores tanto monofásicos como trifásicos. A continuación, se presenta el procedimiento para la configuración del transformador y para los tramos que alimenta el mismo, con sus respectivas acometidas, puntos de carga y consumo en kilovatio hora (kWh). En la Fig. 22, se muestra el resultado de todo este proceso.

Para la configuración del transformador se realiza lo siguiente

1. Doble clic en la vista imbricada



2. Seleccionamos el mapa de fondo y cargamos los archivos ShapeFiles para tener como referencia el circuito a modelar como se muestra en la Fig. 21.
3. Seleccionamos el transformador con dos devanados
4. Damos doble clic en el transformador y seleccionamos las fases de conexión, en zona colocamos de media tensión
5. Nombre del transformador colocamos el código que nos indica el programa ArcGis y damos Aceptar.

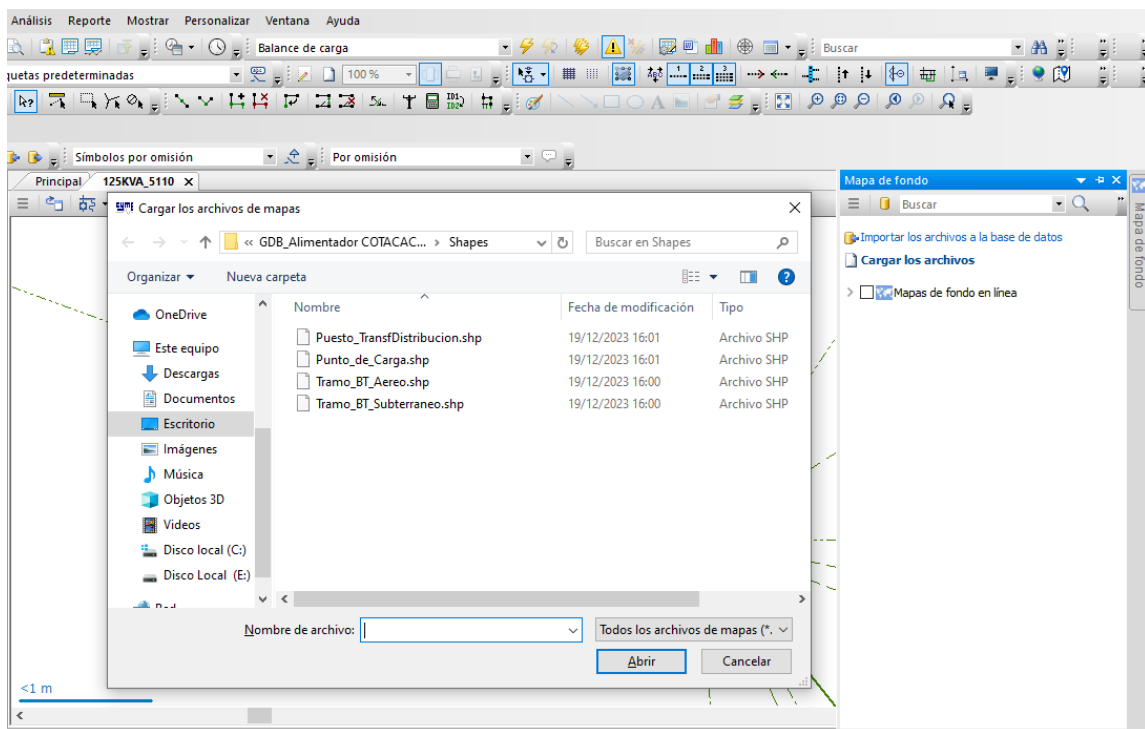


Fig. 21 Mapas de Fondo para modelación del Circuito

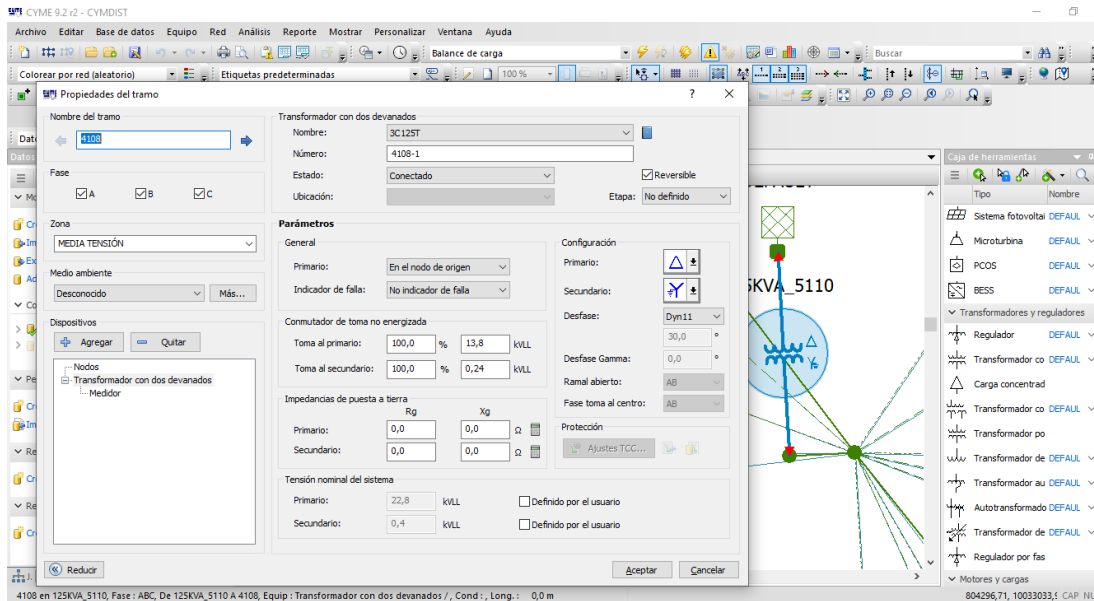


Fig. 22 Configuración del Transformador

Una vez realizado este proceso continuamos configurando la red de baja tensión empezando desde la bajante con sus respectivos tramos seguidamente de acometidas, cargas concentradas y potencias de consumo en cada carga. Para ello en la Fig. 23, se muestra la configuración por fase de la red de baja tensión.

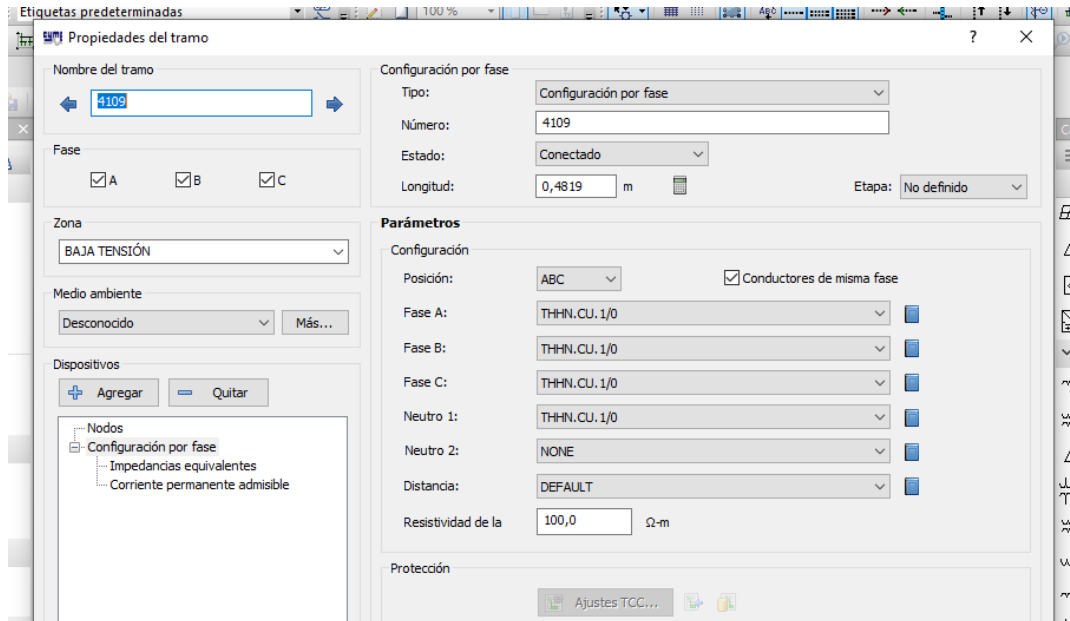


Fig. 23 Configuración por Fase

Nota: Para este ejemplo se tomó en cuenta un transformador trifásico de 125kVA realizamos la configuración de la bajante del transformador de baja tensión, seguidamente, para la configuración del tramo realizamos el mismo proceso de la configuración por fase, pero tomamos en cuenta el tipo de cable de cada fase y neutro que está dado por el programa ArcGis como se muestra en la Fig. 24.

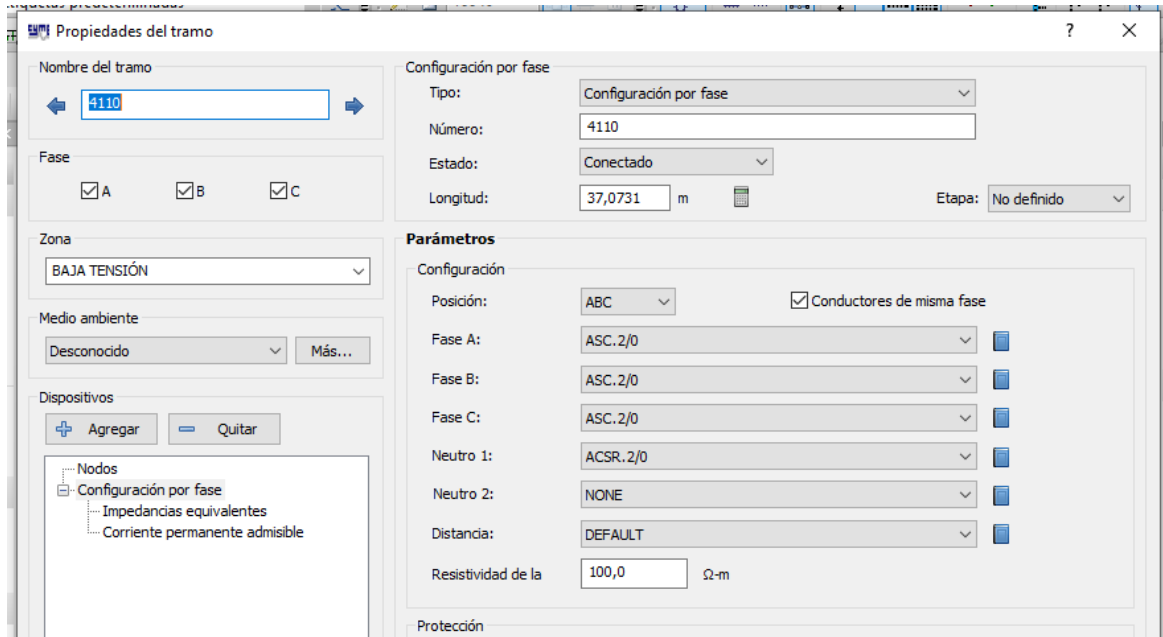


Fig. 24 Configuración por Fase del Tramo de baja tensión

Par la configuración de la acometida, de igual manera tomamos los datos del programa ArcGis en donde nos muestra el tipo de cable que es utilizado, la fase de conexión y la distancia en metros, como se muestra en la Fig. 26

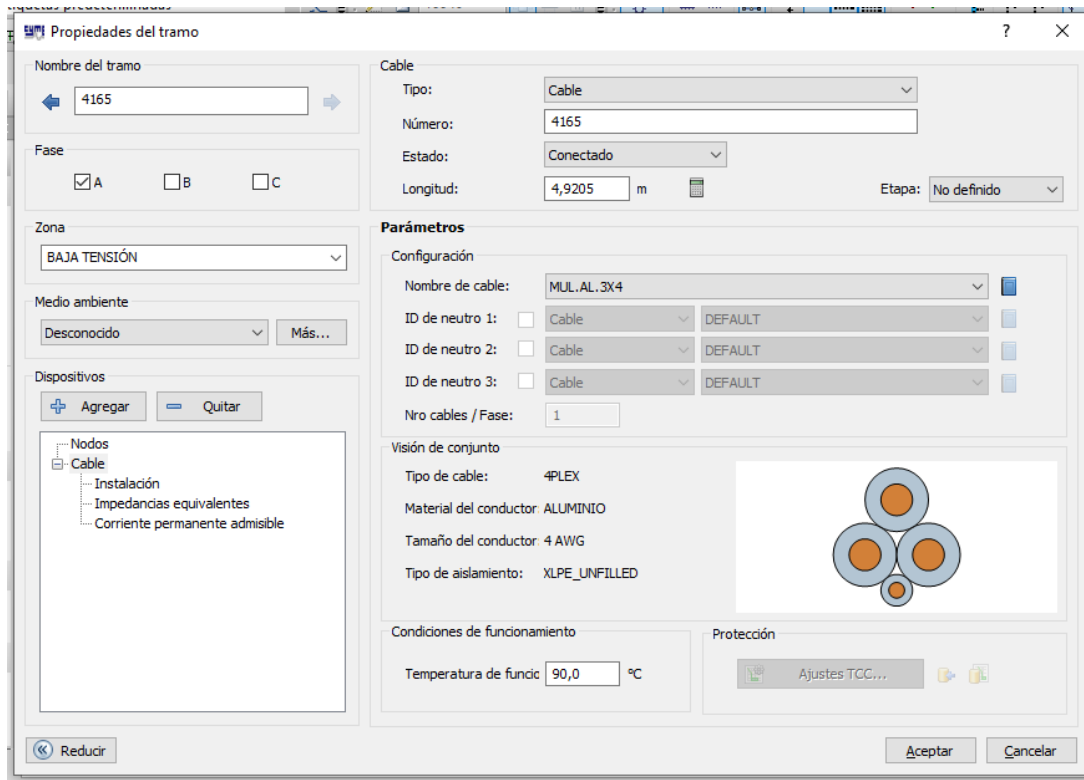


Fig. 25 Configuración del Cable de Acometida

Para la colocación del punto de carga y su respectiva carga concentrada de debe agregar una nueva red para configurar el número de cada medidor o código del cliente, esta configuración tomamos en cuenta el código de cada punto de carga realizando la siguiente configuración como se muestra en la Fig. 26.

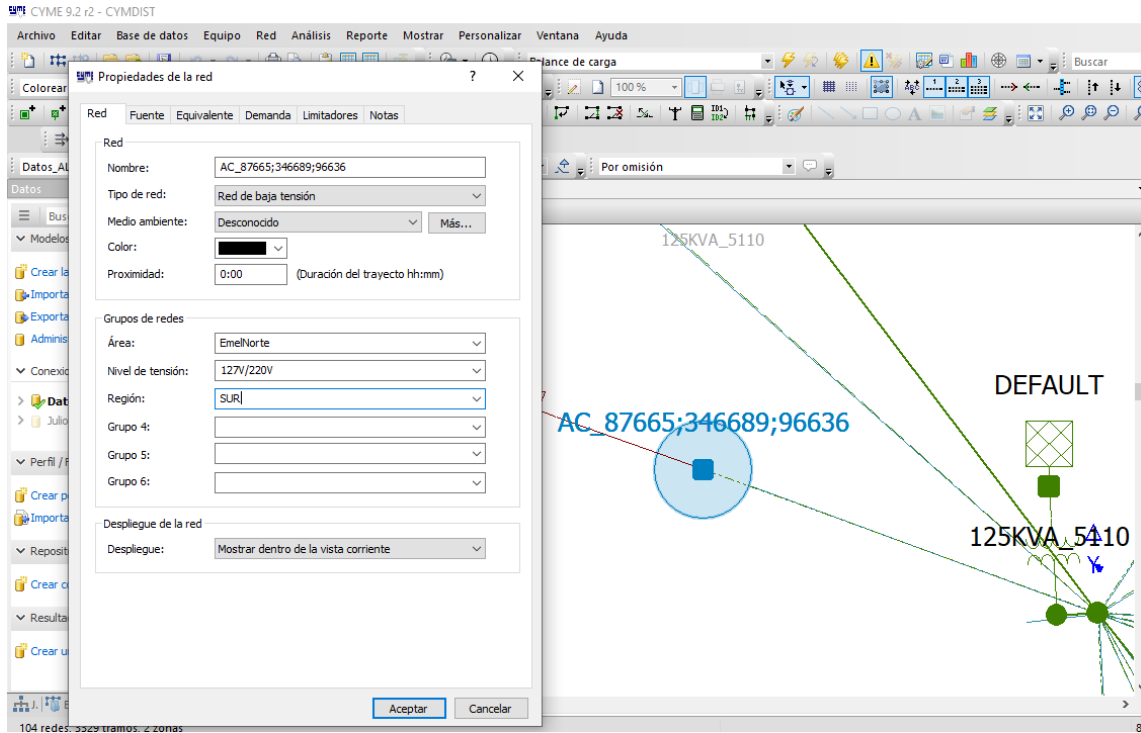


Fig. 26 Configuración del Punto de Carga

Nota: para esta configuración el ejemplo es tomado de un transformador trifásico, tomar en cuenta que en nivel de tensión para transformadores trifásicos es de 127V/ 220V. El nombre del punto de carga es el código cliente extraído del programa ArcGis.

Finalmente, en la Fig. 28 se muestra la configuración de la carga concentrada, donde se coloca los valores de consumo, la capacidad conectada y el número de clientes que existe en el punto de carga, para estos datos de igual manera son extraídos del programa ArcGis como parte de una referencia.

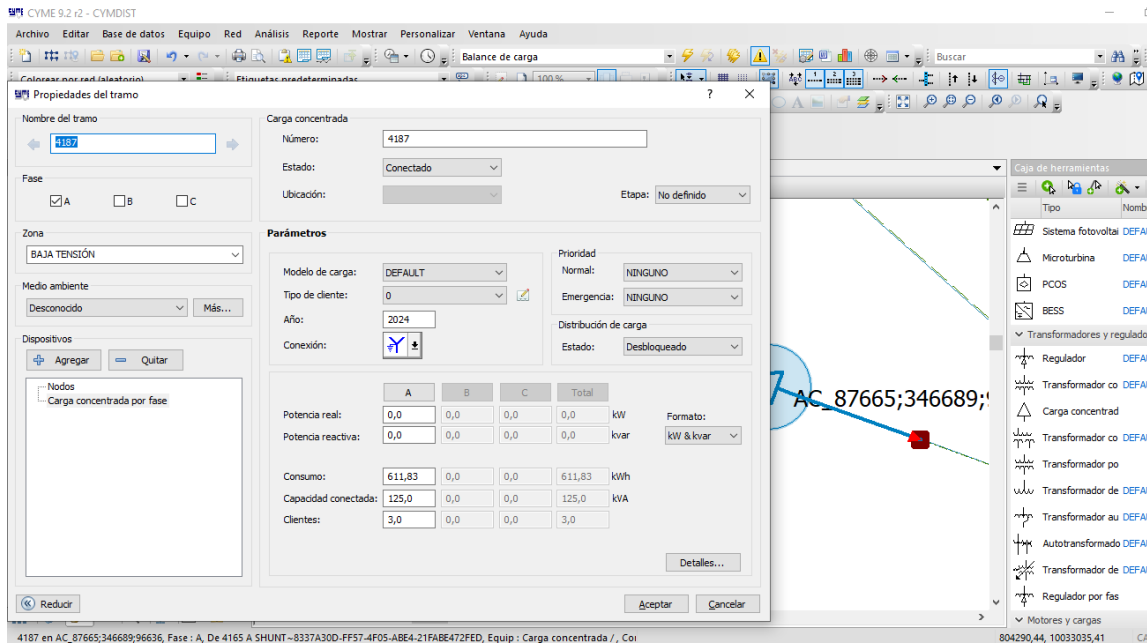


Fig. 27 Configuración de la carga concentrada

Para una mejor comprensión de los datos extraído para la configuración de la carga como es el valor de consumo capacidad conectada y número de clientes, en la Fig. 29, se detallan los valores que fueron extraídos del programa ArcGis para este ejemplo.

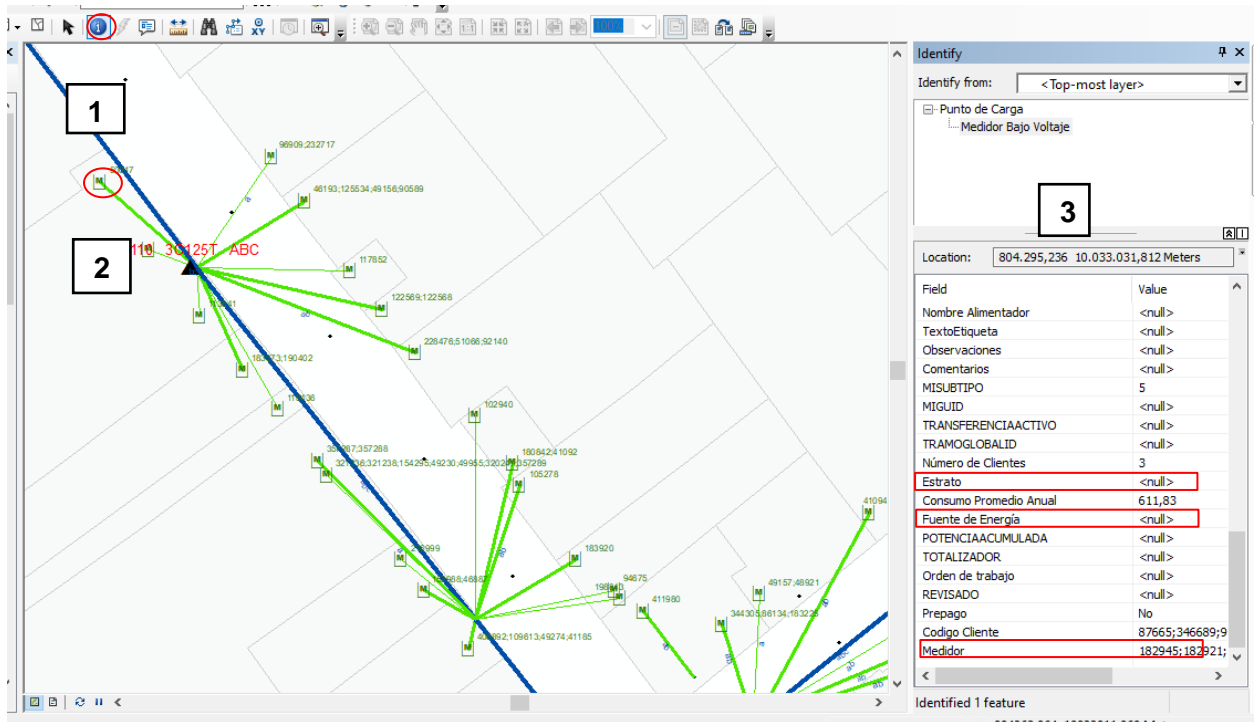


Fig. 28 Valores Extraídos de ArcGis para la Carga

Nota: La parte 1 de la imagen muestra la herramienta de identificación geográfica de ArcGis, que al hacer clic nos ayuda a localizar el tipo de elemento seleccionado y sus características. En el ejemplo, se hizo clic en uno de los puntos de carga (parte 2), lo cual despliega la ventana de la derecha (parte 3), donde se obtienen los valores de consumo, el código del cliente y el número de clientes.

4.2 Flujo de carga y Desbalance del alimentador

El flujo de carga se refiere a la distribución de energía eléctrica a través de la red de suministro, desde las plantas generadoras hasta los consumidores finales. Este proceso implica la regulación de los parámetros eléctricos, como voltajes, corrientes y potencias, para asegurar una operación estable y segura del sistema, como se



muestra en la Fig. 29. Para realizar este flujo de carga, configuramos la cabecera del alimentador con los datos proporcionados como se muestra en la Fig. 30.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	1313,60	0,998550725	1,004347826	1,003623188	57,92	64,39	42,58	94,00	96,00	96,00
3	kVA tot	Vll ab	Vll bc	Vll ca	I a	I b	I c	PF sign a	PF sign b	PF sign c
3679	1102,77	13890,00	13990,00	13970,00	52,94	49,38	35,27	93,00	94,00	95,00
3680	1159,26	13770,00	13880,00	13850,00	54,57	52,75	39,80	92,00	92,00	95,00
3681	1199,00	13680,00	13780,00	13750,00	56,23	58,51	39,52	92,00	93,00	95,00
3682	1223,89	13720,00	13800,00	13790,00	56,54	58,53	39,56	94,00	94,00	95,00
3683	1226,07	13730,00	13810,00	13800,00	56,43	58,98	38,68	94,00	95,00	95,00
3684	1199,54	13720,00	13810,00	13780,00	55,09	57,29	39,76	94,00	95,00	96,00
3685	1250,43	13710,00	13810,00	13770,00	55,96	60,09	39,83	94,00	95,00	96,00
3686	1249,23	13740,00	13820,00	13810,00	54,57	60,37	40,58	94,00	95,00	95,00
3687	1257,71	13750,00	13840,00	13820,00	56,12	63,37	40,67	94,00	95,00	96,00
3688	1313,60	13780,00	13860,00	13850,00	57,92	64,39	42,58	94,00	96,00	96,00
3689	1259,12	13770,00	13860,00	13840,00	55,11	61,39	40,54	94,00	95,00	95,00
3690	1257,73	13770,00	13850,00	13820,00	55,70	62,60	40,92	94,00	95,00	95,00
3691	1226,98	13790,00	13870,00	13850,00	54,49	59,35	41,14	94,00	95,00	95,00
3692	1271,28	13780,00	13870,00	13850,00	56,15	62,33	41,37	94,00	96,00	96,00
3693	1226,63	13790,00	13860,00	13840,00	54,87	59,13	40,49	94,00	95,00	95,00
3694	1213,76	13800,00	13880,00	13870,00	54,24	58,22	40,52	94,00	95,00	95,00
3695	1220,07	13810,00	13900,00	13880,00	53,25	57,25	41,69	94,00	95,00	96,00
3696	1202,10	13800,00	13890,00	13870,00	51,96	58,27	39,36	94,00	95,00	95,00
3697	1205,99	13820,00	13900,00	13890,00	53,02	58,58	40,44	94,00	95,00	95,00
3698	1243,55	13810,00	13890,00	13890,00	56,13	57,12	41,23	95,00	94,00	95,00

Fig. 29 Datos del Alimentador

Tomando en cuenta el valor máximo de potencia aparente tomamos los valores de voltaje de línea en por unidad (p.u.) dividiendo el voltaje dado para el nominal que es 13800 V., a excepción de los valores de corrientes y factor de potencia dados por el alimentador.

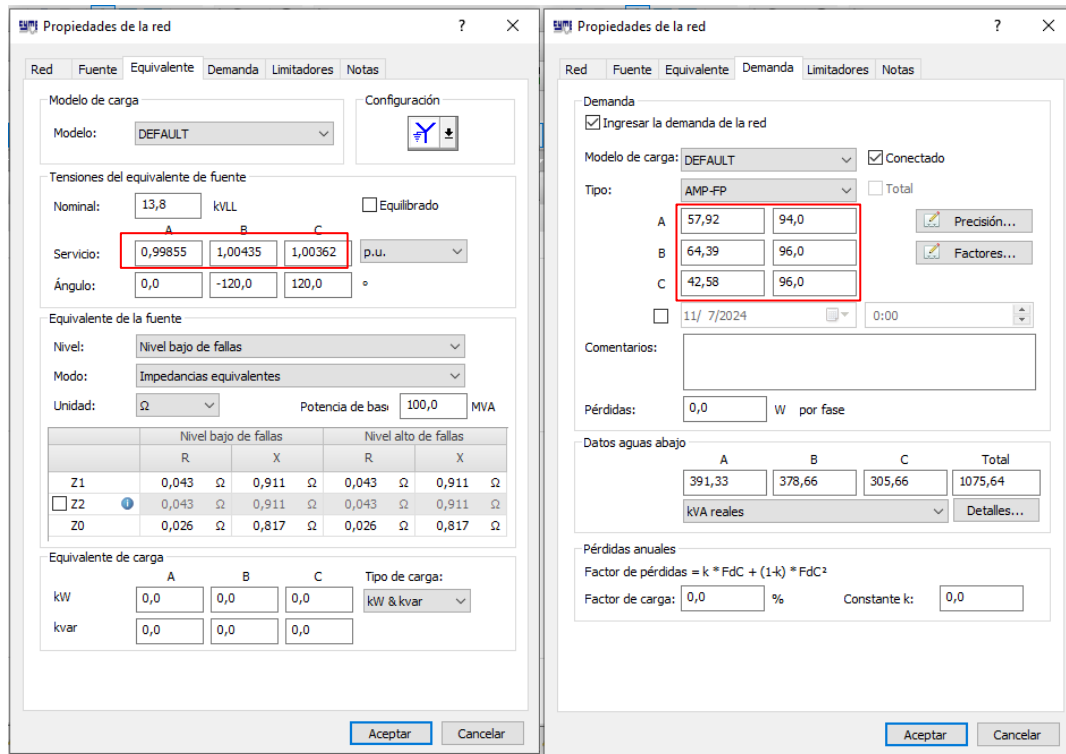


Fig. 30 Configuración de Cabecera

En la cabecera del alimentador se coloca la fuente definida por el usuario, en la parte de equivalente se realiza la configuración de los voltajes de línea en p.u. colocando el voltaje nominal en KVLL de 13,8KV, y en la parte de demanda, se realiza la configuración de corriente y factor de potencia colocando los valores ya dados anteriormente.

A continuación, se realiza la distribución de carga y flujo de carga analizando los datos que nos arroja el programa CYMDYS. En la Fig. 31, se observa el resultado del flujo y en la Tabla1. Se refleja los parámetros eléctricos que calcula en el sistema.

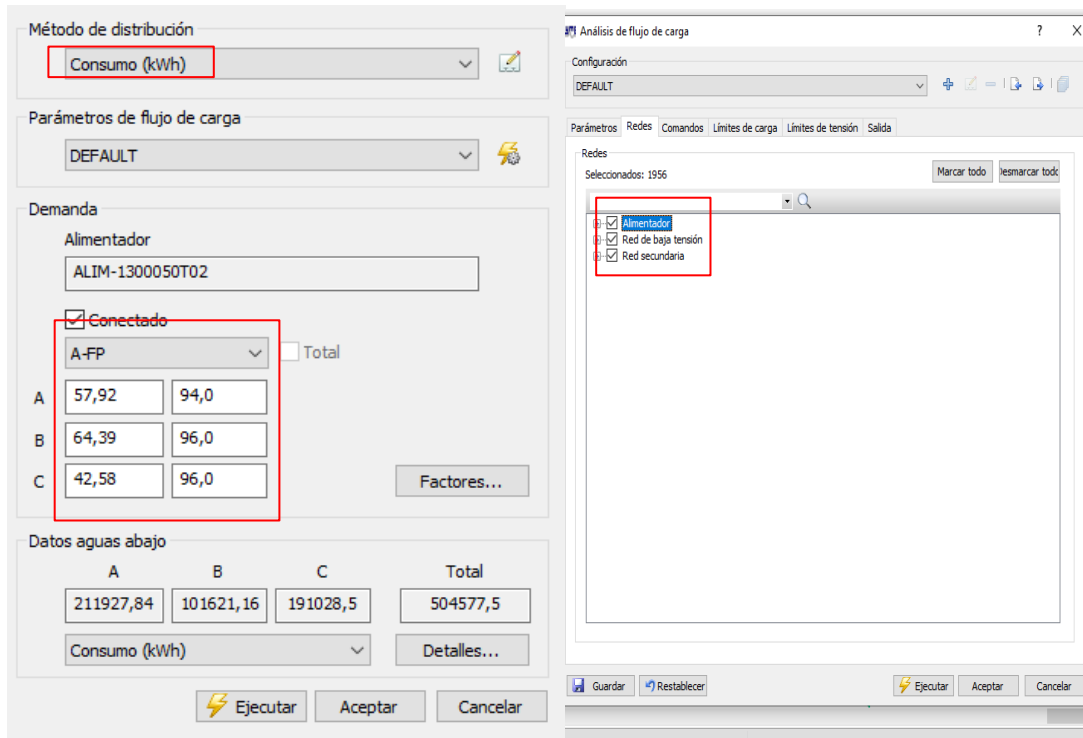


Fig. 31 Distribución y Flujo de Carga

En este apartado la distribución de carga se la realiza con el metodo de consumo (kWh), y tomando en cuenta los valores de corriente y factor de potencia, para el flujo de carga simplemente nos fijamos si esta todo seleccionado en cuando al alimentador, redes secundarias y red de baja tensión.

Tabla 1 Flujo de Carga Inicial

VP.U.	KVLL	KVLN	I (A)	KVA	KW	KVAR	DATOS TEC.
1,002	13,8	8	45,8	1098	1031	377	VALOR PROM.
0,999	13,8	8	43,9	349	336,2	93,6	VALOR EN A
1,004	13,9	8	51,6	412,7	383,5	152,4	VALOR EN B
1,004	13,8	8	42,3	337,9	311,4	131,2	VALOR EN C



En el resultado del flujo de carga nos da que existe un desbalance en cuanto a las corrientes de las 3 fases, 1 de la mas sobresaliente es la fase B.

4.3 Análisis del Desbalance

Para realizar el análisis del desbalance de corriente en cuanto al flujo de carga anterior optamos por la opción de intercambiar la fase de tramos monofásicos, para corregir ese desbalance. En la Fig. 32, se realiza el proceso de cambio de fase de un tramo del alimentador.

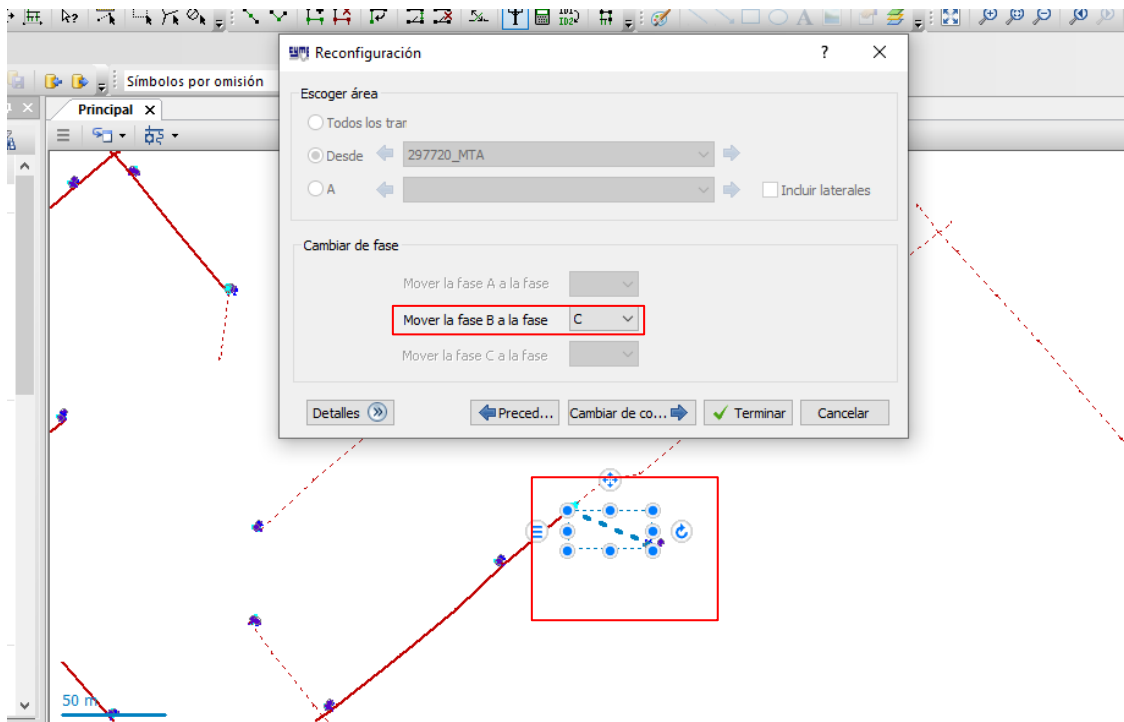


Fig. 32 Cambio de fase B-C del tramo 297720_MTA

Lo que da como resultado a este nuevo análisis está dada en la Tabla 2. Con respecto al nuevo flujo de carga.



Tabla 2 Flujo de Carga. Opción 1

VP.U.	KVLL	KVLN	I (A)	KVA	KW	KVAR	DATOS TEC.
1,002	13,8	8	45,8	1098	1031	377	VALOR PROM.
0,999	13,8	8	43,9	349	336,2	93,6	VALOR EN A
1,004	13,9	8	50,9	407,6	378,7	150,7	VALOR EN B
1,004	13,8	8	42,9	343	316,2	132,8	VALOR EN C

Claramente, los dos valores que se realizó el cambio no tiene mucha variación, pero aún se puede mejorar, cambiando de fase en algún otro tramo. En la Fig. 33, se muestra el tramo seleccionado en el cual se realizó el cambio de fase.

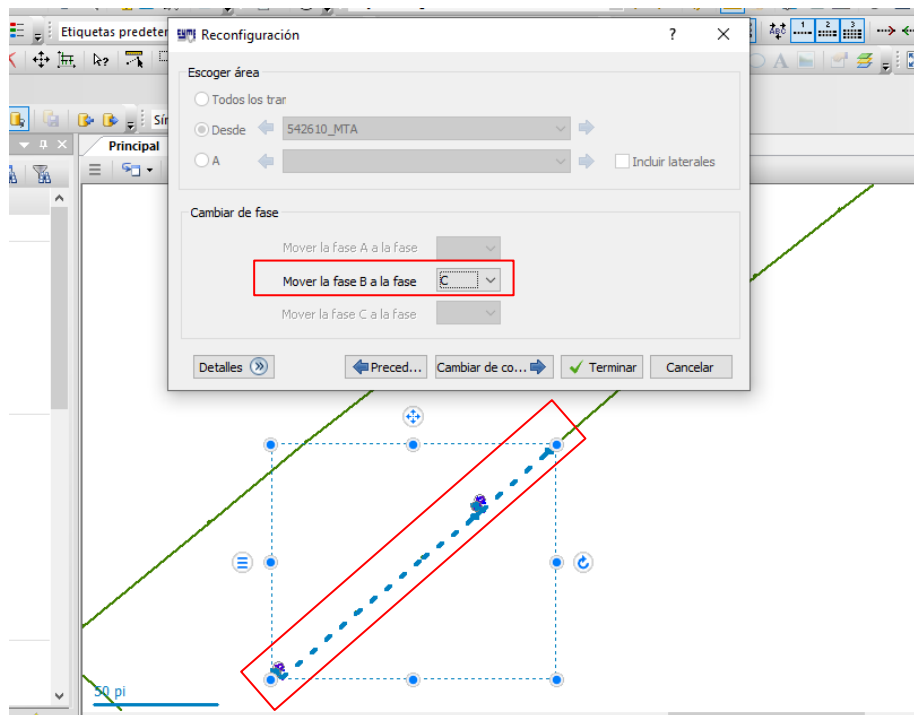


Fig. 33 Cambio de fase de B-C en el tramo 298460_MTA

Una vez realizado el proceso anterior obtenemos los siguientes valores con respecto al flujo de carga, como se muestra en la Tabla 3.



Tabla 3 Flujo de Carga. Opción 2

VP.U.	KVLL	KVLN	I (A)	KVA	KW	KVAR	DATOS TEC.
1,002	13,8	8	45,8	1098	1031	377	VALOR PROM.
0,999	13,8	8	43,9	354,2	341,1	95,6	VALOR EN A
1,004	13,9	8	46,1	369,3	342,5	138,1	VALOR EN B
1,004	13,8	8	47,6	375,9	347,5	143,3	VALOR EN C

El análisis muestra que la fase B está más balanceada en comparación con el valor promedio, con un desbalance de solo 0,65%. Las fases A y C presentan un mayor desbalance, siendo 4,15% y 3,93% respectivamente.

Aunque estos porcentajes de desbalance no son excesivamente altos, es importante monitorear y, si es necesario, ajustar las cargas para evitar problemas operativos a largo plazo. Sin embargo, realizamos otro proceso de cambio de fase para mejorar estos porcentajes, en al Fig. 34 se muestra el tramo seleccionado.

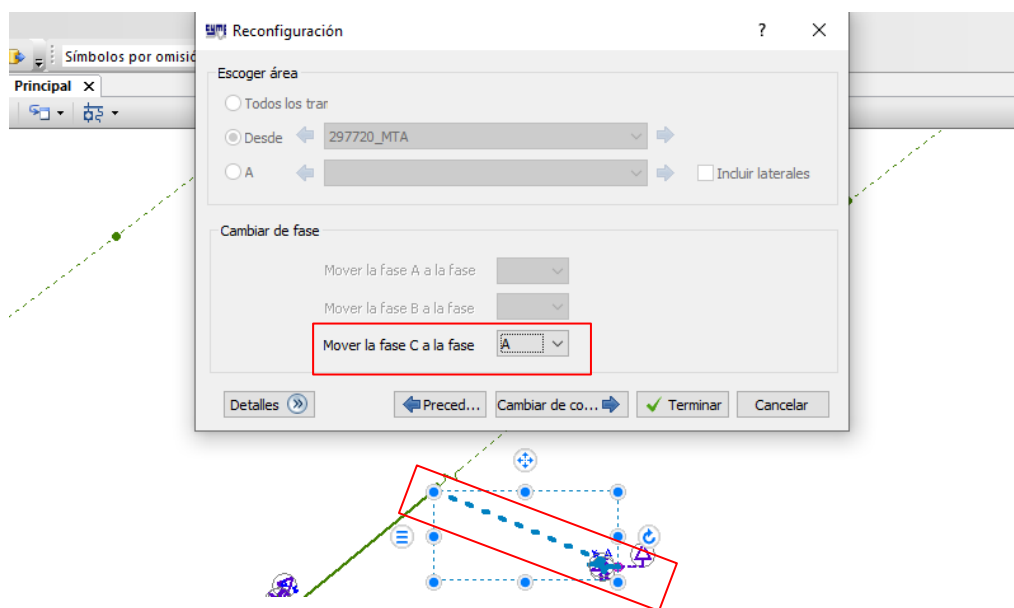


Fig. 34 Cambio de fase de C-A del tramo



Para este nuevo cambio se volvió a correr el flujo y se obtuvo el siguiente resultado mostrado en la Tabla 4.

Tabla 4 Flujo de Carga. Opción 3

VP.U.	KVLL	KVLN	I (A)	KVA	KW	KVAR	DATOS TEC.
1,002	13,8	8	45,8	1098	1031	377	VALOR PROM.
0,999	13,8	8	44,5	354,2	341,1	95,6	VALOR EN A
1,004	13,9	8	46,1	369,3	342,5	138,1	VALOR EN B
1,004	13,8	8	47	375,9	347,5	143,3	VALOR EN C

En este caso, las corrientes mejoraron bastantes con respecto al flujo de carga inicial. Podríamos decir que Estos resultados indican, que la fase A tiene el mayor porcentaje de desbalance con un 2,84%. La fase B tiene el menor porcentaje de desbalance con un 0,65%. La fase C tiene un desbalance intermedio con un 2,62%. bastante equilibrada. Un desbalance de corriente menor al 5% generalmente se considera aceptable. En la tabla 5 se muestra los cambios que se realizó durante el análisis.

Tabla 5 Resultados de los Flujos de Carga

	TRAMO	FASE INICIAL	FASE FINAL	IA	IB	IC
F.C.INICIAL						
OP.1	297720_MTA	B	C	43,9	50,9	42,9
OP.2	298460_MTA	B	C	43,9	46,1	47,6
OP.3	297720_MTA	C	A	44,5	46,1	47



De todas estas opciones consideramos que la opción 3 es la más aceptable ya que el porcentaje de desbalance son mínimo para este caso.

4.4 Cálculos de Desequilibrio

Este apartado se centra en los cálculos de desequilibrio, proporcionando una visión detallada, así como de las implicaciones prácticas y teóricas de los desequilibrios en el contexto de nuestro estudio. A través de este análisis, se busca identificar los factores de desequilibrio para las cargas, como también para los voltajes y corrientes de las mismas.

Para los cálculos que se describen a continuación, se ha toma en cuenta los siguientes valores de potencia aparente, voltaje y corriente de los datos del alimentador Cotacachi con un total de 8927 datos registrados en el mes de mayo, como se muestran en la Fig. 35, se calculó los valores máximos y promedios de cada parámetro.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	V. maximos	13807,41	13901,80	13852,04	43,53	44,12	31,82	954,20	
2	Vpromedio	14260,00	14380,00	14300,00	62,16	66,06	45,81	1313,60	
3									
4		VII ab	VII bc	VII ca	I a	I b	I c	kVA tot	
5		13880,00	13940,00	13880,00	35,54	36,58	26,42	794,44	
6		13910,00	13970,00	13910,00	35,52	35,88	26,14	797,81	
7		13910,00	13980,00	13930,00	35,49	36,22	26,46	789,99	
8		13910,00	13980,00	13930,00	35,66	36,69	25,79	788,38	
9		13910,00	13980,00	13930,00	35,34	36,21	24,62	773,79	
10		13910,00	13970,00	13930,00	34,08	36,94	24,52	774,23	
11		13930,00	13990,00	13950,00	34,66	36,38	24,88	769,88	
12		13940,00	14000,00	13960,00	33,51	36,04	25,44	758,99	
13		13910,00	13970,00	13930,00	34,36	35,38	24,55	770,51	
14		13920,00	13980,00	13940,00	33,75	36,39	23,95	762,57	
15		13910,00	13960,00	13920,00	33,42	35,91	23,65	745,35	
16		13940,00	14010,00	13970,00	32,83	35,19	24,06	749,10	
17		13930,00	13990,00	13940,00	33,27	34,95	24,78	747,72	
18		13920,00	13990,00	13950,00	33,10	34,61	24,53	744,48	
19		13930,00	14000,00	13960,00	33,14	34,49	24,52	741,10	
20		13940,00	14000,00	13970,00	33,14	35,08	24,02	742,24	
21		13940,00	14000,00	13960,00	31,94	34,27	23,51	734,60	

Fig. 35 Datos de Desequilibrio y Desbalance



4.4.1 Cálculo de Equilibrio de Cargas (kVA).

Utilizando la ecuación [1]. Para obtener el valor de factor de desequilibrio de carga (kVA). Tenemos el siguiente resultado:

$$Fac. des. kVA = \frac{1313,60 - 954,20}{1313,60} * 100 = 27.36\%$$

Para este cálculo tomamos en cuenta el valor máximo de potencia aparente circulante, y la diferencia entre el valor promedio. El porcentaje obtenido es de 27.36%, lo cual indica el grado de desequilibrio de la potencia aparente en el transformador. Este valor tiene varias implicaciones prácticas.

Un factor de desequilibrio del 27.36% significa que la potencia aparente actual (1313,60 kVA) se desvía en un 27.36% de la potencia aparente promedio (954,20 kVA). Esto nos dice que, en relación con el promedio, hay una variación significativa en la potencia que está siendo manejada en un momento dado.

Un desequilibrio del 27.36% puede afectar la eficiencia del transformador. Los transformadores están diseñados para operar de manera más eficiente cuando la carga es equilibrada.

4.5 Cálculos de Desbalance

Para realizar los cálculos de desbalance, utilizamos los datos eléctricos del transformador, estos parámetros son fundamentales para evaluar el desempeño y la estabilidad del transformador, asegurando que las operaciones se mantengan dentro de los límites aceptables.



4.5.2 Desbalance de Corriente

Para el cálculo de desbalance de corriente utilizamos la ecuación [2], tomando en cuenta los valores datos por la Fig. 35, mencionada anteriormente.

$$I_{avg} = \frac{57,92 + 64,39 + 42,58}{3} = 54,96$$

$$\text{Desbalance de Corriente (\%)} = \frac{64,39 - 54,96}{54,96} \times 100 = 17,16\%$$

Un desbalance de corriente del 17,16% es relativamente alto y puede indicar problemas en la distribución de la carga del sistema eléctrico. Este desbalance puede causar sobrecalentamiento de los equipos, disminución de la eficiencia y potenciales fallos en los componentes eléctricos. Es importante abordar este desbalance para asegurar un funcionamiento eficiente y seguro del sistema eléctrico.

De igual manera calculamos el Fact. De desequilibrio de corriente con el valor obtenido a partir del flujo de carga inicial, tomando en cuenta los valores de la Tabla 1, obtuvimos el siguiente resultado.

$$\text{Desbalance de corriente (\%)} = \frac{51,6 - 45,8}{45,8} * 100 = 12,66\%$$

Un factor de desequilibrio de corriente del 11,12% indica que hay un desbalance significativo entre las corrientes de las fases A, B y C en comparación con el valor promedio de corriente. Este desequilibrio puede ser indicativo de problemas en la distribución de carga o en el funcionamiento de los equipos eléctricos. Para comparar la mejora del sistema se realizó también el cálculo con el flujo de carga final y se obtuvo lo siguiente.



$$\text{Desbalance de corriente (\%)} = \frac{47 - 45,8}{45,8} * 100 = 2,62\%$$

Un factor de desequilibrio de corriente del 2,62% indica que existe un desbalance menor entre las corrientes de las fases A, B y C en comparación con el valor promedio de corriente. Este desequilibrio es relativamente bajo y generalmente se considera aceptable en sistemas eléctricos estándar.

4.5.3 Desbalance de Potencia

Para el cálculo de desbalance de corriente utilizamos la ecuación [3], tomando en cuenta los valores datos por la Fig. 35, mencionada anteriormente.

$$\text{Potencia } P. = \frac{798,1376 + 892,4454 + 589,733}{3} = 760,1053$$

$$(PA - PB)^2 = (798,1376 - 892,4454)^2 = (-94,3078)^2 \approx 8893,9367$$

$$(PB - PC)^2 = (892,4454 - 589,733)^2 = (302,7124)^2 \approx 91635,0625$$

$$(PC - PA)^2 = (589,733 - 798,1376)^2 = (-208,4046)^2 \approx 43431,0316$$

Suma de las diferencias cuadradas = 8893,9367 + 91635,0625 + 43431,0316

$$\approx 143959,0308 = \sqrt{143959,0308} = 379,3888$$

$$\text{Desbalance de Potencia} = \frac{379,3888}{760,1053 * \sqrt{3}} * 100 = 28,82\%$$

Un desbalance de potencia del 28,82% indica una distribución significativa y desigual de la potencia entre las fases. Este alto nivel de desbalance puede causar problemas en la eficiencia y el rendimiento del sistema eléctrico, incluyendo sobrecalentamiento de equipos, reducción de la vida útil de los componentes y posibles fallos en el sistema.



En cuanto al desbalance de potencia con los valores de flujo de carga inicial sacado de la Tabla 1 tenemos el siguiente resultado utilizando la ecuación [3].

$$PA = VA \cdot IA = 14260 \cdot 43.9 = 625,514W$$

$$PB = VB \cdot IB = 14380 \cdot 50.9 = 731,642W$$

$$PC = VC \cdot IC = 14300 \cdot 42.9 = 612,570W$$

$$P_{promedio} = \frac{625,514 + 731,642 + 612,570}{3} = 656,242W$$

$$(PA - PB)^2 = (625,514 - 731,642)^2 = (-106,128)^2 = 11,280,752,784$$

$$(PB - PC)^2 = (731,642 - 612,570)^2 = (119,072)^2 = 14,202,934,784$$

$$(PC - PA)^2 = (612,570 - 625,514)^2 = (-12,944)^2 = 167,708,736$$

$$\text{Suma de las diferencias cuadradas} = 11,280,752,784 + 14,202,934,784 + 167,708,736$$

$$= 25,651,396,304 = \sqrt{25,651,396,304} = 160,238$$

$$\text{Desbalance de Potencia} = \frac{160,238}{656,242 \cdot \sqrt{3}} * 100 = 14.1\%\%$$

Un desbalance de potencia del 14,1% indica un nivel considerable de desbalance entre las potencias de las fases.

En cuanto al desbalance de potencia con los valores de flujo de carga final sacado de la Tabla 4 tenemos el siguiente resultado. Utilizando la ecuación [3].

$$PA = VA \cdot IA = 14260 \cdot 44.5 = 634,670W$$

$$PB = VB \cdot IB = 14380 \cdot 46.1 = 662,618W$$

$$PC = VC \cdot IC = 14300 \cdot 47 = 6,721,000W$$



$$P_{promedio} = \frac{634,670 + 662,618 + 6,721,000}{3} = 2,339,429W$$

$$PA - PB)^2 = (634,670 - 662,618)^2 = (-27,948)^2 = 781,975,204$$

$$(PB - PC)^2 = (662,618 - 6,721,000)^2 = (-6,058,382)^2 = 36,743,020,324$$

$$(PC - PA)^2 = (6,721,000 - 634,670)^2 = (6,086,330)^2 = 37,104,014,489$$

$$\text{Suma de las diferencias cuadradas} = 781,975,204 + 36,743,020,324 + 37,104,014,489$$

$$= 74,629,009,017 = \sqrt{74,629,009,017} = 273,260$$

$$\text{Desbalance de Potencia} = \frac{273,260}{2,339,429 * \sqrt{3}} * 100 = 6.73\%$$

Un desbalance de potencia del 6,73% indica que hay un desbalance moderado entre las potencias de las fases. Este nivel de desbalance puede ser considerado aceptable

4.6 Propuesta de mejora

La mejor opción para mejorar el desbalance de carga en este sistema eléctrico parece ser una combinación de las siguientes medidas:

1. *Redistribución de la Carga:* Como primer paso, realizar un análisis detallado y redistribuir las cargas entre las fases.
2. *Programación de cargas:* Programar el uso de cargas pesadas en diferentes momentos para evitar picos de demanda en una sola fase.
3. *Cambio de fase entre tramos:* Analizar el cambio de fase para corregir el desbalance de carga, esta opción permite el cambio de fase en tramos monofásicos lo cual hizo que las corrientes desbalanceadas sean moderadamente equitativas.



Para este sistema de acuerdo a los cálculos y resultados obtenido del antes y el después se puede optar por la opción de cambiar la fase monofásica en tramos que tenía sobrecarga de corriente, y esto ayudo a equilibrar el sistema eléctrico.

Conclusiones:

1. Las teorías revisadas resaltaron la comprensión integral y la complejidad de los factores contribuyentes al desbalance, tanto las causas inmediatas, como también los factores subyacentes. Las propuestas presentadas en la teoría, que incluyen la implementación de sistemas avanzados de monitoreo y estrategias de gestión de carga, ofrecen enfoques valiosos para contrarrestar el desbalance. Este marco teórico estableció una base sólida para la investigación empírica, que busca evaluar específicamente el desbalance de carga en el alimentador.
2. El estudio técnico del balance de carga enfocado en el alimentador Cotacachi N°2 ha proporcionado una comprensión exhaustiva de los desafíos asociados con el desbalance de carga en este sistema específico. Los análisis detallados de la carga actual y proyectada, junto con la evaluación de los patrones de consumo, han permitido garantizar la continuidad y confiabilidad del servicio eléctrico en el alimentador Cotacachi N°2, y contribuyendo así a la prevención de desconexiones imprevistas.
3. El análisis de los datos calculados revela un desbalance significativo tanto en la potencia como en la corriente. Estos resultados subrayan la necesidad de implementar medidas correctivas para mejorar la eficiencia y la fiabilidad del sistema eléctrico. Las estrategias de mejora recomendadas incluyen la redistribución de la carga entre las fases, adicionalmente, la implementación de convertidores de fase, optimización del diseño del sistema, y mantenimiento



predictivo contribuirán a reducir el desbalance y a asegurar un funcionamiento óptimo del sistema. Estas acciones combinadas permitirán una gestión más eficiente de la carga, mejorando la estabilidad y prolongando la vida útil de los equipos eléctricos.

Recomendaciones:

1. Se recomienda realizar este análisis de desbalance tomando en cuenta la potencia de alumbrado público, dado que la integración de estas cargas adicionales puede agravar aún más el desbalance existente en el sistema eléctrico. Es crucial evaluar y ajustar la distribución de carga no solo para los consumidores habituales, sino también para las cargas específicas como el alumbrado público, con el fin de lograr una gestión equilibrada y eficiente de toda la red eléctrica.



Referencias Bibliográficas:

- [1] L. Césped Molano, «Evaluación Técnica y Diagnóstico de la Calidad de Energía Eléctrica en la planta QUALA S.A.» Marzo 2007. [En línea].
- [2] R. ARCERNNR, «Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica,» 2020.
- [3] A. 001/20, «Distribución y comercialización de,» 2020. [En línea]. Available: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2020-06/Documento_Regulaci%C3%B3n-Nro-ARCONEL-001-20-Distribuci%C3%B3n-y-comercializaci%C3%B3n-de-energ%C3%ADa-el%C3%A9ctrica.pdf.
- [4] A. F. CARRILLO OSORIO, «Impacto del desbalance de carga en líneas de distribución de energía eléctrica,» 2020.
- [5] P. Morcelle del Valle y M. Deorsola, «CIRCUITOS ELÉCTRICOS Libros de Catedra,» 2020.
- [6] A. Moron J., Sistemas eléctricos de distribución, 2021.
- [7] A. Guerrero Zela, «Web 2.0 Electricidad,» 2023. [En línea]. Available: <http://web-electricidad-guerrero.blogspot.com/p/mapas.html>.
- [8] F. Nuñez Ramirez, Centrales de generación y subestaciones eléctricas, 2019.
- [9] C. Solís, «Planificación De Redes Eléctricas De Distribución En Zonas Urbanas Consolidadas Considerando Criterios De Confiabilidad. ResearchGate,» 2018.
- [10] D. Cárdenas, D. Paredes, E. Solano y G. Ampuno, «Modelo térmico para determinar la vida útil de un transformador de distribución sumergido en aceite,» 2020.
- [11] J. E. Suárez Rodríguez, «Estudio para el balanceo de la carga del alimentador Anconcito de Santa Elena,» 2019.
- [12] O. Gómez Carmona y C. J. Zapata, «Efecto del desbalance en las cargas sobre la valoración de confiabilidad de un sistema de distribución de energía eléctrica,» 2007.
- [13] C. R. Corrales Tapia, «"Análisis de eficiencia energética en el sistema eléctrico del Servicio Ecuatoriano",» 2022.
- [14] J. R. LÓPEZ BELTRÁN y E. N. VENTURA GÁMEZ, «ESTUDIO DEL DESBALANCE DE TENSIONES Y SUS EFECTOS EN LA CALIDAD DEL PRODUCTO TÉCNICO,» 2019.



- [15] L. R. M. Villalba, «ResearchGate,» Octubre 2015. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Figura-12-Voltaje-de-entrada-con-desbalances-abc_fig2_318967467.
- [16] S. Pinzon Masache y D. F. Carrión Galarza, «“Modeling of the Behavior Power Flow on Transmission Lines Based on Voltage and Current Synchronopasors,”» 2021.
- [17] M. R. Vuluvala y L. M. Saini, «“Load balancing of electrical power distribution system: An overview,”» 2018.
- [18] SIMBA REYES, BRAYAN DAVID;, Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19778/1/UPS%20-%20TTS241.pdf>.
- [19] J. D. e. al, "Power Imbalance in Electrical Systems: Causes, Effects, and Mitigation Strategies," , 2018.
- [20] E. N. Rey Paba, «Diseño e implementación de un tablero de distribución eléctrica bifásico inteligente de cuatro circuitos, basado en tecnología Arduino,» 2022.
- [21] V. SOUSA SANTOS, A. ZAMBRANO MEJIA y . E. NORIEGA ANGARITA, «“Evaluación de problemas de calidad de energía y el factor de potencia en una industria con cargas eléctricas variables no lineales.”.,» 2020.
- [22] L. Klessler, 06 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://afinidadelectrica.com/2020/05/06/perturbaciones-en-la-red-electrica/>.
- [23] R. Jiménez, T. Serebrisky y J. Mercado, «Dimensionando las pérdidas de electricidad en los sistemas de transmisión y distribución en América Latina y el Caribe - Reporte del Banco Interamericano de Desarrollo. Banco Interamericano de Desarrollo.,» 2014.
- [24] P. Otero, R. Ayala y V. Calle, «Metodología de cálculo de pérdidas de potencia y energía en el sistema de alumbrado público del Ecuador,» 2020.
- [25] A. L. Shah, W. Mesbah y . A. T. Al-Awami, «Un algoritmo para la detección y corrección precisas de pérdidas técnicas y no técnicas mediante la medición inteligente,» 2020.
- [26] S. S. Muhammad y etc., 2020. [En línea]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/12/3242>.
- [27] J. . I. Paredes Acosta, «RECONFIGURACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA PARA LA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA,» 2021.
- [28] M. Hernández, G. Arroyo, M. Santos, G. Rodríguez y H. Escobedo, 2015. [En línea]. Available: <https://www.ineel.mx/boletin042015/tecni2.pdf>.



- [29] L. A. Visarrea Lima, «Análisis de calidad de energía eléctrica en la Empresa textil Etiketex S.A. ubicada en el cantón Quito, mediante la REGULACIÓN ARCERNNR 002/20,» 2022.
- [30] E. S.A., «Circuito Monofásico,» 2020.
- [31] I. S.A., «Análisis de Calidad de Energía.,» 2020. [En línea]. Available: <https://improselec.com/analisis-de-calidad-de-energia/>.
- [32] D. F. López Gómez, «Desarrollo de una metodología para medición y análisis de calidad de potencia eléctrica,» 2020.
- [33] J. Torres, «slideshare a Scribd company,» 7 Agosto 2014. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/jotita26/calidad-de-energa-elctrica-y-mantenimiento-en-centros-hospitalarios>.
- [34] A. L. Grefa y E. D. Paredes Cruz, «ESTUDIO PARA MEJORAR LOS ÍNDICES DE CALIDAD Y CONFIABILIDAD,» 2022.
- [35] E. S. Cuchala Meneses, «Propuesta técnica para el mejoramiento de la calidad de energía en las,» 2022.
- [36] R. N. Empresa Electrica, «INFORME DE ÍNDICES DE CALIDAD DE SERVICIO,» 2021.
- [37] J. M. Gomez Orellana, «Análisis de calidad de energía eléctrica en la Facultad de,» 2019.
- [38] D. D. Sánchez Mamarandi y L. . W. Sánchez Mamarandi Lizardo Williams, «“DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LA EMPRESA,» 2020.
- [39] A. F. CARRILLO OSORIO, «IMPACTO DEL DESBALANCE DE CARGAS EN LINEAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA,» 2020.
- [40] Gómez Carmona, Oscar; Zapata, Carlos J. ;, «SCIELO,» 25 Junio 2007. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932007000100006&lng=pt&nrm=iso&tIng=es.
- [41] C. Carreño y J. Avilés , «Localización óptima de equipos de regulación de voltaje y compensación de reactivos para alimentadores de medio voltaje, mediante algoritmos evolutivos,» 2022.
- [42] A. A. Carrión Macías y G. A. Cabrera Rivas, «“Estudio y análisis del balanceo de cargas para la mejora de producción eléctrica en la planta de Duragas S.A Pifo-Sangolquí”,» 2022.
- [43] L. Kessler, 06 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://afinidadelectrica.com/2020/05/06/perturbaciones-en-la-red-electrica/>.