

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



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

**TEMA:**

**REDISEÑO DE LAS REDES PRIMARIAS DEL ALIMENTADOR  
SAN VICENTE Nro.1 DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL  
NORTE EMELNORTE S.A PARA EL MEJORAMIENTO DE LA  
CALIDAD DE SERVICIO ELÉCTRICO.**

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

**Línea de investigación:** Biotecnología, energía y recursos naturales renovables

**AUTOR:**

Jordan Alexander Morán Arcos

**DIRECTOR:**

MSc: Segundo Hernán Pérez Cruz

Ibarra, julio 2024

# DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

## 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En el 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 DEL CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0402040570		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Morán Arcos Jordan Alexander		
DIRECCIÓN:	Cristóbal Tobar Subia y Luis madera		
EMAIL:	jamorana@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	063014719	TELÉFONO MÓVIL:	0992420860

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	REDISEÑO DE LAS REDES PRIMARIAS DEL ALIMENTADOR SAN VICENTE Nro.1 DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE EMELNORTE S.A PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE SERVICIO ELÉCTRICO.
AUTORE (ES):	Morán Arcos Jordan Alexander
FECHA: DD/MM/AAAA	03 de julio del 2024
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR	Segundo Hernán Pérez Cruz

## 2. CONSTANCIAS

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

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

**AUTOR:**



Jordan Alexander Morán Arcos

C.I, 0402040570

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

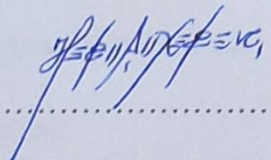
Ibarra, 24 de julio de 2024

Hernán Pérez

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

### CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los finales legales pertinentes.

Firma .....  


SEGUNDO HERNÁN PÉREZ CRUZ

C.C.: 0400826616.....



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



### **3. DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de grado a todas las personas que me brindaron su apoyo y han sido una inspiración a lo largo de mi trayectoria académica y vida personal. A mis padres por su infinito amor, apoyo e invaluable sacrificios que realizaron ya que me dio aliento para salir de cada uno de los obstáculos que presento este camino. A mis hermanos por darme motivación para superarme, sus palabras de aliento que me ayudaron a perseguir un sueño con determinación. A mi pareja y a mi hijo por su apoyo emocional, comprensión y amor que fueron cruciales para mantenerme enfocado y motivado en este gran desafío.

A todas aquellas personas que de una u otra forma, me brindaron su granito de arena y me permitieron tener esperanza para lograr esta meta, con gratitud y aprecio Jordan Morán.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



#### **4. AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo de investigación. En primer lugar, quiero agradecer a mi director, el MSc. Hernán Pérez por su orientación, ya que sus conocimientos y experiencia han sido fundamentales para el cumplimiento de este proyecto, agradezco también a todos los docentes de la carrera de Electricidad que me ayudaron a desarrollar mis habilidades y ampliar mi cognición, deseo extender mi gratitud a todo el personal de estudios eléctricos de EMELNORTE que me supieron guiar en este proceso, por brindarme las facilidades necesarias y proporcionarme un ambiente propicio para el aprendizaje.

A mi familia por siempre ayudarme en las buenas y las malas, por su infinito apoyo, amor incondicional y sobre todo por creer en mi aun cuando yo dudaba, finalmente a todos aquellos, que de una u otra manera me contribuyeron en el desarrollo de este trabajo mis más sinceros agradecimientos. Sin su apoyo este logro no habría sido posible.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Tabla de Contenido**

<b>1.</b>	<b>IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....</b>	<b>II</b>
<b>2.</b>	<b>CONSTANCIAS.....</b>	<b>III</b>
<b>3.</b>	<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>V</b>
<b>4.</b>	<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>VI</b>
	<b>Tabla de Contenido .....</b>	<b>VII</b>
	<b>Índice de figuras .....</b>	<b>XII</b>
	<b>Índice de tablas .....</b>	<b>XIV</b>
	<b>RESUMEN .....</b>	<b>XV</b>
	<b>Palabras clave .....</b>	<b>XV</b>
	<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XVI</b>
	<b>Keywords: .....</b>	<b>XVI</b>
	<b>CAPITULO I .....</b>	<b>1</b>
	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.</b>	<b>Tema .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2.</b>	<b>Problema .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2.1.</b>	<b>Planteamiento del problema .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2.2.</b>	<b>Formulación de la pregunta de investigación.....</b>	<b>1</b>



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



<b>1.3. Objetivo general .....</b>	<b>1</b>
<b>1.4. Objetivos específicos .....</b>	<b>2</b>
<b>1.5. Alcance .....</b>	<b>2</b>
<b>1.6. Justificación .....</b>	<b>2</b>
<b>Capítulo II .....</b>	<b>4</b>
<b>Marco Teórico .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Antecedentes .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Índices para medir la calidad de producto en un alimentador primario .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3. Sistema de distribución .....</b>	<b>6</b>
<b>2.4. Tipos de Sistemas de distribución eléctrica.....</b>	<b>7</b>
2.4.1. Sistema de Distribución Radial .....	7
2.4.2. Sistema de Distribución Anillada .....	8
2.4.3. Sistema de Distribución en Malla .....	9
<b>2.5. Subestación de Distribución .....</b>	<b>9</b>
<b>2.6. Alimentadores primarios .....</b>	<b>10</b>
<b>2.7. Transformador de Distribución .....</b>	<b>10</b>
<b>2.8. Líneas de los sistemas de distribución .....</b>	<b>11</b>
<b>2.9. Líneas primarias o de medio voltaje .....</b>	<b>12</b>
<b>2.10. Líneas secundarias o de bajo voltaje.....</b>	<b>12</b>





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



<b>2.11. Acometidas.....</b>	<b>13</b>
<b>2.12. Medidores .....</b>	<b>13</b>
<b>2.13. Alumbrado público .....</b>	<b>14</b>
<b>2.14. Factores que causan los desbalances de cargas en un alimentador .....</b>	<b>14</b>
2.14.1. Desbalance de cargas.....	14
2.14.2. Desbalance de corriente .....	15
2.14.3. Desequilibrio de voltaje .....	15
2.14.4. Desigualdad en la distribución de cargas .....	16
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>17</b>
<b>Materiales y Métodos .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1. Descripción del lugar de estudio .....</b>	<b>17</b>
3.1.1. Ubicación de la subestación .....	17
3.1.2. Descripción técnica .....	18
<b>3.2. Métodos científicos .....</b>	<b>19</b>
3.2.1. Tipos de investigación .....	19
3.2.2. Alcance de la Investigación .....	20
3.2.3. Herramientas científicas.....	20
<b>3.4 Metodología .....</b>	<b>21</b>
<b>3.5. Materiales .....</b>	<b>22</b>



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



3.5.1. Equipos de maniobra .....	22
3.5.2. Softwares utilizados .....	23
3.5.3. Ecuaciones matemáticas .....	24
3.5.4. Información proporcionada .....	25
3.5.4.1. Base de datos de ArcGIS .....	25
3.5.4.2. Base de datos de CYME .....	26
3.5.4.3. Equipos existentes en el alimentador.....	27
3.5.4.4. Porcentaje de desbalance del alimentador I1 .....	27
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>29</b>
<b>Resultados y Análisis .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1. Modelado de la red de distribución de bajo voltaje en el software CYME .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2. Cálculo de valores para la cabecera del alimentador .....</b>	<b>30</b>
<b>4.3. Distribución de carga y Corrida de flujo .....</b>	<b>31</b>
<b>4.4. Análisis de la red de medio y bajo voltaje para el balance de cargas .....</b>	<b>32</b>
4.4.1. Estado inicial del sistema .....	33
4.4.2. Análisis en redes primarias o de medio voltaje .....	34
4.4.2.1. Análisis en tramos superiores a 4 amperios .....	34
4.4.2.2. Análisis en tramos inferiores a 4 amperios como posibles tramos a transferir ....	35
4.4.3. Análisis en redes secundarias o de bajo voltaje .....	36



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



<b>4.5. Resultados sobre el balance de cargas .....</b>	<b>37</b>
4.5.1. Resultados en red primaria o de medio voltaje.....	37
4.5.2. Resultados en redes de bajo voltaje.....	39
<b>Conclusiones .....</b>	<b>43</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>44</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>45</b>
<b>Anexos.. .....</b>	<b>51</b>



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
*Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020*  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



## Índice de figuras

Fig. 1. Proceso de Suministro de Energía Eléctrica .....	6
Fig. 2. Red de Distribución Radial .....	8
Fig. 3. Red de Distribución en Anillo .....	8
Fig. 4. Red de Distribución en Malla .....	9
Fig. 5. Subestación de Distribución.....	10
Fig. 6. Impacto visual de redes eléctricas aéreas vs redes subterráneas .....	11
Fig. 7. Punto de entrega: empresa distribuidora y consumidor .....	13
Fig. 8. Diagrama fasorial en desequilibrio.....	15
Fig. 9. Zona cubierta por el alimentador I1 de la Subestación San Vicente .....	18
Fig. 10. Diagrama unifilar de la subestación San Vicente.....	19
Fig. 11. SPI-III Identificador de fase .....	23
Fig. 12. Esquema de funcionalidad del módulo.....	23
Fig. 13. Alimentador San Vicente No. 1. En ArcGIS.....	26
Fig. 14. Base de datos alimentador I1 en el CYME.....	26
Fig. 15. Modelado de la red de bajo voltaje de cada uno de los transformadores .....	30
Fig. 16. Distribución de carga de la simulación en el software CYME .....	32
Figura 17. Corrida de flujo en el software CYME .....	32



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
*Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020*  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



Fig. 18. Configuración siglas para evidenciar valores.....	33
Fig. 19. Datos sobre el flujo de carga .....	33
Fig. 20. Análisis de equilibrio de corrientes en bajo voltaje en el software CYME.....	37
Fig. 21. Cuadro de flujo con las corrientes equilibradas. ....	38
Fig. 22. Cuadro de flujo con el equilibrio de corrientes en bajo voltaje.....	40



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
*Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020*  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



## Índice de tablas

TABLA I .....	7
TABLA II .....	27
TABLA III .....	27
TABLA IV .....	28
TABLA V .....	30
TABLA VI .....	35
TABLA VII .....	36
TABLA VIII .....	38
TABLA IX .....	39
TABLA X .....	41
TABLA XI .....	42



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



## RESUMEN

El presente proyecto se basa en el rediseño de las redes primarias del alimentador San Vicente Nro. 1. para el correcto balanceo de cargas del sistema de distribución de energía eléctrica, el análisis permite mejorar la calidad del servicio eléctrico a los usuarios finales. El estudio se realizó en una zona urbano marginal de la ciudad de Otavalo ya que la red trifásica de medio voltaje se encontraba desbalanceada, partiendo de un estado inicial del sistema, EMELNORTE proporcionó una base de datos de las redes de medio y bajo voltaje en el software ArcGIS, se extrajo solo la información del alimentador II la cual se imprimió en planos A2 para realizar inspecciones de campo y validar información, con la ayuda del personal técnico de la empresa y el módulo SPI-III identificador de fases se determinó la correcta dirección de las fases A, B, C, en la salida del alimentador. La corroboración de la información sirvió para modelar la red de bajo voltaje y realizar un análisis más detallado balanceando las cargas en el software CYME. Los resultados del rediseño de la red de medio voltaje con el módulo guía no fueron muy significativos, pero se procedió a balancear las cargas manualmente en el software y los resultados en la red de bajo voltaje el software si emitió sugerencias de algunos cambios para equilibrar las cargas y también reducir pérdidas en el sistema.

### **Palabras clave**

Desequilibrio, Cargas, Distribución, Sistema, Eléctrico, Desbalance.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

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

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS****CARRERA DE ELECTRICIDAD****ABSTRACT**

This project focuses on the redesign of the primary networks of the San Vicente Feeder No. 1 to achieve proper load balancing in the electrical distribution system, enhancing the quality of electric service for end-users. The study was conducted in an urban-marginal area of Otavalo, where the three-phase medium voltage network was unbalanced. Starting from an initial state of the system, EMELNORTE provided a database of medium and low voltage networks in ArcGIS software. Information pertaining to feeder I1 was extracted and printed on A2 plans for field inspections to validate the data. With the assistance of the company's technical staff and the SPI-III phase identifier module, the correct direction of phases A, B, and C at the feeder's output was determined. The validated information was used to model the low voltage network and conduct a detailed load balancing analysis using CYME software. Although the redesign results for the medium voltage network with the guide module were not very significant, manual load balancing in the software resulted in the low voltage network receiving suggestions for some changes to balance the loads and reduce system losses.

**Keywords:**

Imbalance, Loads, Distribution, System, Electric, Imbalance,





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



## CAPITULO I INTRODUCCIÓN

### 1.1. Tema

Rediseño de redes primarias del alimentador San Vicente Nro.1 de la Empresa Eléctrica Regional Norte EMELNORTE S.A. para el mejoramiento de la calidad de servicio eléctrico.

### 1.2. Problema

#### 1.2.1. Planteamiento del problema

Con el pasar del tiempo la población crece de forma acelerada y EMELNORTE está obligado a brindar una calidad de servicio y producto, asegurándose que el sistema eléctrico de distribución sea más confiable. Debido a los desbalances de carga del sistema eléctrico se puede tener diversas consecuencias para la eficiencia y seguridad del sistema. Es importante llevar un monitoreo y análisis periódico de la carga y tomar medidas para corregir cualquier desequilibrio. Asegurándose de que la vida útil de los equipos eléctricos sea más duradera y los costos de mantenimiento no sean elevados.

EMELNORTE realiza trabajos continuos para reducir los inconvenientes que se producen a diario, evitando molestias y pérdidas económicas en usuarios que tienen pequeños negocios quienes son afectados principalmente, ya que ellos son los que encuentran conectados a la red de distribución de energía eléctrica.

#### 1.2.2. Formulación de la pregunta de investigación

¿Cuáles son las causas del desbalance de cargas en la red primaria del alimentador No.1. de la Subestación San Vicente para el mejoramiento de la calidad de servicio eléctrico?

### 1.3. Objetivo general

Rediseñar las redes primarias del alimentador San Vicente No.1 de la Empresa Eléctrica Regional Norte S.A. mediante la Regulación Nro. ARCERNNR 002/20 para el mejoramiento de la calidad del servicio eléctrico.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



#### 1.4. Objetivos específicos

- Describir los factores que causan los desbalances de carga en el alimentador Nro.1 de la Subestación San Vicente.
- Diagnosticar las redes del alimentador San Vicente No.1 para el análisis del desbalance de carga.
- Rediseñar redes primarias del alimentador principal No.1 de la subestación San Vicente con el programa Cymdist.

#### 1.5. Alcance

El presente estudio se lo realiza con el objetivo de mejorar la calidad de servicio a los usuarios, se debe hacer inicialmente la identificación de fases, para esto EMELNORTE ha adquirido unos equipos identificadores de fases que permiten identificar las fases de cada uno de los ramales del circuito a lo largo del alimentador Nro.1 de la Subestación San Vicente, esta información será entregada al Departamento de Sistemas de Información Geográfica para que actualicen la información en el software ArcGIS para migrar la información al software Cymdist y modelar la red primaria para determinar la condición actual del alimentador, luego se debe actualizar el módulo de balance de carga para determinar qué cambios se puede realizar en la red para mejorar este desbalance.

La Empresa Eléctrica Regional Norte se encarga de brindar la información actualizada sobre los índices comerciales, calidad del servicio eléctrico y pérdidas del alimentador, así como también el equipamiento necesario para realizar análisis, incluyendo medidores, analizadores, equipos de registro de datos y software CYMDIST y ArcGIS.

#### 1.6. Justificación

Hoy en día los estudios demuestran poco interés en el mejoramiento de la calidad del servicio de energía eléctrica, aprovechando el convenio macro UTN-EMELNORTE, es factible hacer un rediseño de la red primaria del alimentador Nro.1 de la Subestación San Vicente para un correcto balance de cargas en el sistema de distribución eléctrica debido a que esto puede representar aspectos negativos significativos en la calidad del servicio eléctrico y la durabilidad de equipos eléctricos.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



Analizando los desbalances de cargas de un sistema de distribución de energía eléctrica se puede obtener diferentes tipos de información nueva que permitan mejorar la calidad del servicio eléctrico y reduciendo las pérdidas de energía eléctrica, la distribución de carga actual en las diferentes fases del sistema puede ayudar a optimizar la configuración para una mejor distribución de cargas y una mayor eficiencia energética.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



## Capítulo II

### Marco Teórico

#### 2.1. Antecedentes

Los índices y límites de calidad de servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica se los determina por indicadores, los cuales son:[1]

- Calidad de servicio: eficiencia técnica y comercial a la prestación del servicio de energía eléctrica.
- Calidad de producto: calidad de las señales de voltaje entregadas por la empresa distribuidora.
- Calidad de servicio comercial: calidad de la atención al consumidor final.
- Calidad de servicio técnico: calidad de la continuidad con la que se prestará el servicio de la energía eléctrica.

Los rangos admitidos para los índices de niveles en medio voltaje son  $\pm 6\%$  y los rangos admitidos para los niveles en bajo voltaje son  $\pm 8\%$ . [1]

EMELNORTE, se toma como referencia la regulación de la ARCERNNR 002/20 “Calidad del Servicio de Distribución y Comercialización de la Energía Eléctrica” toma acciones para cumplir con los índices de interrupciones en los cuales se han presentado varios proyectos que permitirán disminuir dichos índices. Aplicando el mantenimiento preventivo en redes de distribución e inversiones en alimentadores son unos de los casos que puede reducir los índices de interrupciones los cuales son analizados por el Departamento de Calidad de la Energía y Estudios Eléctricos. [2]

La calidad de energía eléctrica se refiere a la medida en la que la electricidad suministrada a los usuarios consumidores deberá cumplir con ciertos estándares de calidad para que este servicio sea confiable y seguro. La cual es evaluada en base a la información proporcionada por las empresas distribuidoras y la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL).[3]

La importancia de la calidad de energía eléctrica es necesario para garantizar el suministro de energía confiable y segura, y para prevenir daños en los equipos eléctricos y electrónicos.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



Además, la calidad de energía eléctrica puede tener impactos ambientales y económicos, como la reducción de la eficiencia energética y el aumento de consumo de energía.[4]

El régimen de sanciones por la ARCERNNR da un seguimiento detallado al incumplimiento de los límites de cada uno de los índices e indicadores de calidad de servicio de energía eléctrica, de manera mensual o anual, según corresponda al informe. El ajuste se plantea con el objetivo de mejorar la calidad de servicio, planteando sanciones pertinentes por cada incumplimiento, los valores respectivos dependerán del índice de interrupción y del tipo de incumplimiento.

La distorsión armónica individual de corriente y la distorsión de demanda total también es evaluada, para mantener controlado a los consumidores ya que ellos son los que se encuentran conectados a la red de distribución.[1]

Las pérdidas totales y no técnicas han sufrido un incremento en los últimos años y este no es el caso para las pérdidas técnicas que se mantuvieron en un rango moderado. Se analizan la Frecuencia Media de Interrupción FMIK y el Tiempo Total de Interrupción TTIK en el último año que es el 2022, considerando información reportada por la Empresa Regional Norte S.A a través del SISDAT y sus actualizaciones.[2]

Los sistemas de distribución contienen asimetrías en los ramales y son las fuentes de desbalances de cargas, es uno de los problemas más común en los sistemas trifásicos y puede tener consecuencias significativas en términos de eficiencia, estabilidad y vida útil de los equipos. Se produce cuando la carga no se distribuye de manera equilibrada entre las fases del sistema eléctrico.[5]

## **2.2. Índices para medir la calidad de producto en un alimentador primario**

Los desbalances de carga en un alimentador primario pueden ser causados por diferentes factores que afectan al sistema eléctrico, es de gran importancia identificar y corregir los desbalances de carga en los alimentadores primarios para mejorar la calidad del suministro



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



eléctrico, ya que esto puede causar pérdidas de energía y provocar sobrecargas en algunos componentes del sistema eléctrico de distribución.

### 2.3. Sistema de distribución

El sistema de distribución es el encargado de llevar la energía eléctrica desde la salida de subestación de distribución, es decir desde la cabecera de los alimentadores principales hasta los consumidores finales, los cuales de acuerdo con su configuración pueden ser de distinto tipo, deben adoptarse al nivel de voltaje que requiere cada cliente, así como también dependerá de los parámetros que intervengan en la planeación de la red los cuales son:[6]

- Densidad
- Tipos de carga (residencial, comercial, industrial, mixta)
- Localización geográfica de la carga
- Área de expansión de la carga
- Continuidad del servicio

En la figura 1. Se observa un Sistema Eléctrico de Potencia el cual está conformado por Centrales de Generación, Líneas de Subtransmisión, Interconexiones Internacionales, Subestaciones SNT, Subestaciones de Distribución, Sistemas de Distribución, nos sirve para diferenciar cada uno de los sistemas eléctricos y enfocarnos en nuestro objetivo que es el sistema de distribución.

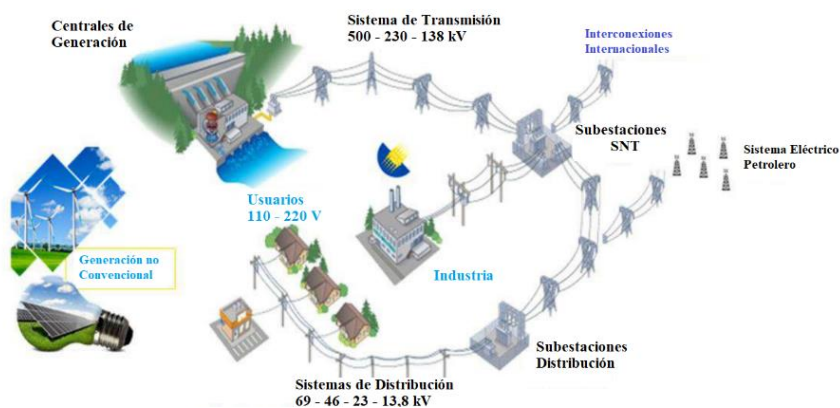


Fig. 1. Proceso de Suministro de Energía Eléctrica. [7]



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



TABLA I

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE REDES AÉREAS DE DISTRIBUCIÓN

Ventajas	Desventajas
Costo inicial más bajo	Mal aspecto estético
Son los más comunes y materiales de fácil de consecución	Menor confiabilidad
Fácil mantenimiento	Menor seguridad (ofrece más peligro para los transeúntes)
Fácil localización de fallas	Están expuestas a la humedad y a la acción de los roedores
Tiempo de construcción más bajos	

Nota: Se puede observar una tabla comparativa de ventajas y desventajas de redes aéreas de distribución [8].

**2.4. Tipos de Sistemas de distribución eléctrica**

Existen diferentes tipos de redes de distribución eléctrica, los cuales se muestran a continuación:

**2.4.1. Sistema de Distribución Radial**

Es el tipo más básico de red de distribución. Consiste en una línea principal de distribución desde la subestación que se ramifica en múltiples líneas de distribución más pequeñas que suministran energía a los consumidores. Cada línea de distribución tiene un solo punto de conexión a la red principal.[9]

En la figura 2. Se puede observar un gráfico, el cual representa a un esquema unifilar de una Red de Distribución Radial, que consiste en una sola fuente y las cargas no poseen más puntos de alimentación.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

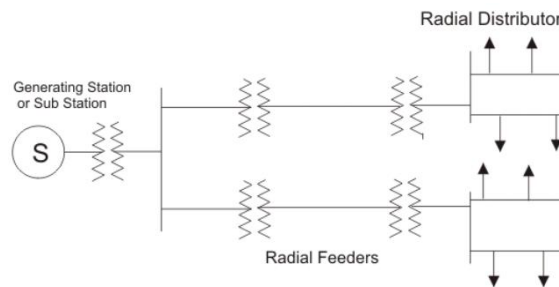


Fig. 2. Red de Distribución Radial. [10]

**2.4.2. Sistema de Distribución Anillada**

En este tipo de red, se establece un anillo cerrado de líneas de distribución interconectadas. Esto proporciona mayor confiabilidad y redundancia, ya que, si una línea se interrumpe, la energía puede circular en la dirección opuesta para suministrar a los consumidores y consta de dos o más fuentes de energía eléctrica.[9]

En la figura 3. Tenemos un esquema unifilar que representa a una Red de Distribución en Anillo el cual dispone de dos o más fuentes de alimentación para abastecer a la carga, permitiendo así formar un sistema de Distribución más seguro.

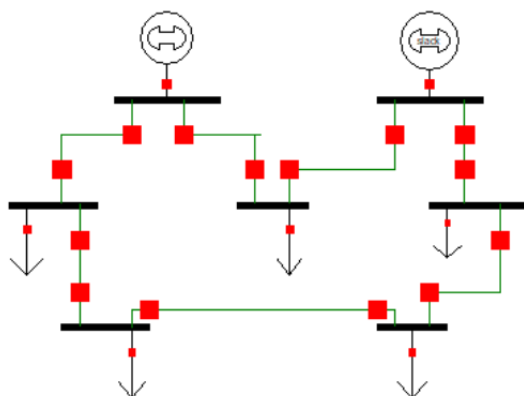


Fig. 3. Red de Distribución en Anillo. [11]





# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



#### 2.4.3. Sistema de Distribución en Malla

En una red de distribución en malla, es el resultado de tener entrelazados anillos y líneas radiales formando las mallas eléctricas. Esto proporciona una mayor redundancia y confiabilidad, ya que, si una línea se interrumpe, la energía puede fluir por múltiples rutas alternativas para llegar a los consumidores y consta de sistemas anillados y sistemas radiales.[12]

En la figura 4. Podemos observar un esquema unifilar que representa a una Red de Distribución en Malla, el cual consiste en la combinación de los sistemas de distribución radial y el sistema de distribución en anillo.

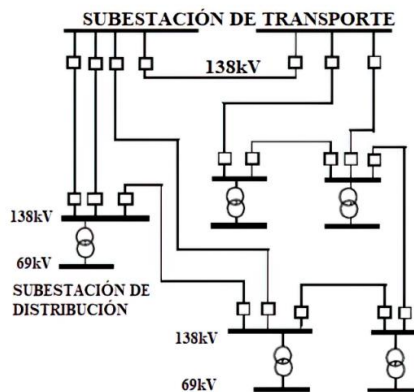


Fig. 4. Red de Distribución en Malla. [13]

Es de gran importancia el tipo de red de distribución que se va a seleccionar ya que depende de diversos factores, como el tamaño del área a cubrir, la densidad de carga, la confiabilidad requerida y los costos asociados. Además, los avances tecnológicos, como las redes inteligentes y la generación distribuida, están influyendo en la evolución de las redes de distribución eléctrica.

#### 2.5. Subestación de Distribución

Una Subestación de Distribución de Energía Eléctrica permite modificar diferentes características de la energía eléctrica como voltajes, corrientes, etc. Su función principal es recibir



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



energía eléctrica de la red de subtransmisión de alto voltaje y transformarla a tensiones más bajas para distribuirla a los usuarios finales, como hogares e industrias. [14]

En la figura 5. Se puede observar la Subestación de Distribución San Vicente la cual pertenece a EMELNORTE.



Fig. 5. Subestación de Distribución.

## 2.6. Alimentadores primarios

Los alimentadores primarios son redes de alimentación de energía eléctrica de medio voltaje que inician en la salida de la subestación de distribución, entregando energía eléctrica a los transformadores de distribución que se instalan a lo largo del circuito.[15]

## 2.7. Transformador de Distribución

Hoy en día se requiere de este dispositivo de transformación para elevar o reducir el voltaje dependiendo de sus necesidades. Los transformadores están presentes en centrales elevadoras de voltaje para aumentar el valor de la generación hasta puntos de distribución, permitiendo reducir la corriente para utilizar un calibre más adecuado al momento de transportar la energía eléctrica.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



También se encuentra en el sistema de distribución ya que permiten disminuir los niveles de voltaje antes de que la electricidad alcance a los consumidores. Sin el desarrollo de ciertos equipos eléctricos como el caso característico de los transformadores esto no sería concebible. [16]

### 2.8. Líneas de los sistemas de distribución

Son parte fundamental del sistema eléctrico de distribución, permiten el transporte de la energía eléctrica desde los puntos de transformación de voltaje hasta los puntos de consumo.

Se divide en tres tipos de líneas de distribución los cuales son:

- Sistemas aéreos
- Sistemas subterráneos
- Sistemas mixtos

Los sistemas aéreos están instalados en postes de hormigón y acero, con sus respectivas estructuras de soporte. Los sistemas subterráneos son las instalaciones que se encuentran ocultas bajo la tierra permitiendo así una mejor presentación del sistema eléctrico. Los sistemas mixtos forman parte de la unión de los sistemas aéreos y los sistemas subterráneos, en casos el sistema mixto tiene el sistema aéreo para los niveles de medio voltaje y el sistema subterráneo para baja tensión.[17]

En la figura 6. Se puede observar una comparativa visual de lo que representa un sistema de líneas de distribución aéreas y un sistema de líneas de distribución subterráneas.



Fig. 6. Impacto visual de redes eléctricas aéreas vs redes subterráneas. [18]



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



## 2.9. Líneas primarias o de medio voltaje

Permiten conducir la energía eléctrica para distancias más largas desde las subestaciones de potencia hasta los transformadores de distribución, su estructura es una línea principal formada con: troncales y ramales, los troncales son líneas principales de la red con mayor capacidad de conducir energía eléctrica, conductores de calibre más grueso y los ramales se refiere a las líneas que se derivan de la troncal, con calibre de conductor más delgado, por lo general estas derivaciones son conectadas a los transformadores de distribución. [17]

Las líneas primarias de distribución se pueden clasificar en:

- Trifásicas a tres hilos
- Trifásicas a cuatro hilos
- Monofásica a dos hilos
- Monofásica a un hilo

Estas derivaciones monofásicas, bifásicas y trifásicas se conectan a las fases A, B, C, de la troncal.

## 2.10. Líneas secundarias o de bajo voltaje

Las líneas secundarias de distribución permiten conducir la energía eléctrica desde los transformadores de distribución hasta las acometidas de los usuarios, dependiendo de la configuración del sistema ya sea radial o mallado.[17]

Las líneas secundarias de distribución se clasifican en:

- Monofásico a dos hilos
- Monofásico a tres hilos
- Trifásico a tres hilos
- Trifásico a cuatro hilos



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD



## 2.11. Acometidas

Es la conexión física de elementos eléctricos entre la red eléctrica, siendo la empresa distribuidora la que proporciona la red y la instalación eléctrica propiedad de los usuarios consumidores. Las acometidas dependerán de la estructura de la res eléctrica y estas pueden ser acometidas aéreas o subterráneas. También dependerá del tipo de usuario al que se desea prestar el servicio de energía eléctrica ya que la acometida puede suministrar cargas industriales comerciales y residenciales.[19]

En la figura 7. Se puede verificar una instalación del punto de entrega de la empresa distribuidora y el consumidor, a través de una línea de conexión llamada acometida.

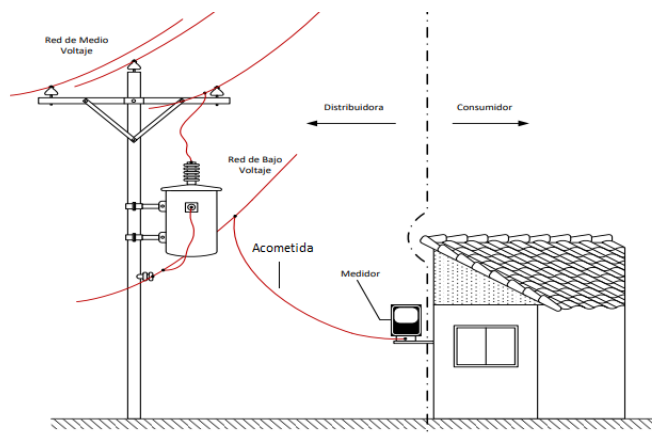


Fig. 7. Punto de entrega: empresa distribuidora y consumidor. [19]

## 2.12. Medidores

Equipos de medición y registro de energía activa, energía reactiva, demandas máximas y otros parámetros relacionados con la energía eléctrica. Son esenciales para el registro de cantidad de energía consumida por los usuarios individuales como industrias, empresas o residencias. Anteriormente se utilizaba los medidores analógicos, hoy en la actualidad se utiliza los medidores digitales ya que disponen de mejoras tecnológicas como es la electrónica para mejorar su eficiencia. Los medidores de energía eléctrica registran la cantidad de energía consumida en kilovatios-hora (kWh).[20]



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



### **2.13. Alumbrado público**

Iluminación de vías y espacios públicos, destinados a la movilidad, seguridad, ornamentación y deporte. Proporciona iluminación para mejorar la visibilidad de las personas.

El alumbrado público se clasifica en:

- Alumbrado público general
- Alumbrado público ornamental
- Alumbrado público intervenido

El alumbrado público general comprende la iluminación en zonas comunes que necesiten buena visibilidad como vías, espacios públicos, sectores urbanos y rurales, etc. El alumbrado ornamental se refiera a la iluminación con criterios estéticos como parques, iglesias, plazas, etc. El alumbrado intervenido se refiera a la iluminación en zonas que toman requerimientos específicos de los gobiernos autónomos descentralizados.[21]

### **2.14. Factores que causan los desbalances de cargas en un alimentador**

En la prestación del servicio de energía eléctrica hay un conjunto de atributos técnicos y comerciales inherentes que certifican la fiabilidad, estabilidad y eficiencia con la que se suministra la energía eléctrica a los usuarios finales. [1]

#### **2.14.1. Desbalance de cargas**

Los desbalances de cargas en un sistema eléctrico es la desigualdad de cargas entre las fases de un sistema trifásico ya que las tensiones y ángulos entre fases consecutivas no son iguales. Las principales causas son las cargas monofásicas conectadas al sistema trifásico.[22]

En la figura 8. Diagrama fasorial se evidencia gráficamente las corrientes, las tensiones de línea y las tensiones de línea-tierra de un circuito trifásico el cual a su vez se encuentra en desequilibrio.

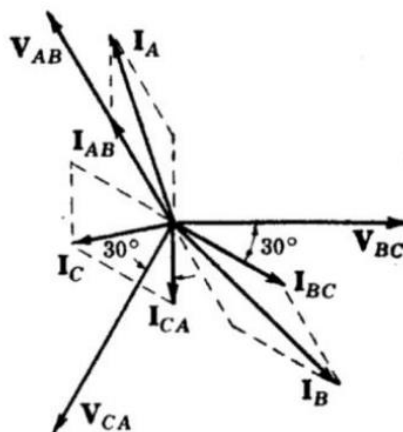


Fig. 8. Diagrama fasorial en desequilibrio. [22]

### 2.14.2. Desbalance de corriente

En un sistema trifásico de distribución de energía eléctrica el desbalance de corriente se refiere a la disparidad o asimetría de los módulos y ángulos de la corriente. Cuando las corrientes de las tres fases son de igual magnitud y desplazadas 120 grados se puede decir que es un sistema ideal y equilibrado. Sin embargo, los desbalances de corrientes son provocados por la desigualdad de cargas en el sistema eléctrico, problemas de los equipos instalados y desconexiones sueltas o ineficientes.[23]

### 2.14.3. Desequilibrio de voltaje

Entre las fases de un sistema eléctrico trifásico los niveles de voltajes son diferentes, se puede considerar que hay desequilibrio de voltaje. En un sistema eléctrico trifásico ideal las tensiones entre las fases deben ser iguales en magnitud y desplazadas 120 grados.

El desequilibrio de voltaje en un punto del sistema de distribución se evalúa con los siguientes índices:

- Componente de secuencia positiva de voltaje, determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos.





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



- Componente de secuencia negativa de voltaje, determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos.

El valor límite para el índice de desequilibrio de voltaje en un punto de medición será el 2% para todos los niveles de voltaje. Las empresas distribuidoras de energía eléctrica son las encargadas de cumplir con estos índices de desequilibrio de voltaje en un punto

#### **2.14.4. Desigualdad en la distribución de cargas**

En las redes trifásicas de distribución de energía eléctrica, por lo general las cargas eléctricas en el sistema no se encuentran distribuidas uniformemente esto se debe al comúnmente a las cargas monofásicas y bifásicas, debido a una distribución heterogénea principalmente de los consumidores de las líneas de bajo voltaje, esta desigualdad puede causar varios efectos eléctricos y físicos. Se puede afirmar que este es uno de los problemas más comunes en los sistemas de distribución ya que esto permite que se incrementen las pérdidas, así como también la reducción de la calidad del servicio eléctrico y afectando a la confiabilidad de este. Este fenómeno puede ser cuantificado gracias a la relación existente entre la magnitud de componentes con secuencia negativa y el de la positiva, denominado como el factor de desbalance en corriente ( $F_{din}$ ). [24]





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**CAPITULO III**  
**Materiales y Métodos**

A continuación, se presenta los métodos de estudios que se utilizó en el análisis sobre el desbalance de cargas del alimentador San Vicente No.1 (I1), descripción de los programas especializado, información técnica y las fórmulas que ayudan a solucionar el desbalance en alimentadores primarios.

**3.1. Descripción del lugar de estudio**

EMELNORTE S.A. brinda el servicio eléctrico a 273.048 abonados con una expansión de 11.979 km<sup>2</sup> que abarcan las provincias de Imbabura, Carchi, una parte de la provincia de Pichincha, Sucumbíos y Esmeraldas. EMELNORTE cuenta con tres puntos de interconexión con el Sistema Nacional Interconectado, dos puntos en la S/E Bellavista en la ciudad de Ibarra y el otro punto es para posibilitar la conexión internacional con Colombia.

**3.1.1. Ubicación de la subestación**

La subestación San Vicente se encuentra en la Provincia de Imbabura, ciudad de Otavalo, en la avenida Luis Alberto de la Torre se encuentra la subestación San Vicente. El estudio está enfocado al alimentador San Vicente No. 1, el cual alimenta al sector de Copacabana, el mirador de Otavalo, entrada al terminal, y el centro de la ciudad de Otavalo.

En la figura 9. Es la extensión que cubre el alimentador San Vicente No. 1 en la ciudad de Otavalo.



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



Fig. 9. Zona cubierta por el alimentador I1 de la Subestación San Vicente. [25]

### 3.1.2. Descripción técnica

El sistema de Subtransmisión de EMELNORTE S.A. transmite potencia a un nivel de voltaje 69 kV y consta con 17 subestaciones de 69 kV/13,8 kV. La subestación San Vicente dispone de cuatro alimentadores principales y una posición disponible (I5). En la salida del alimentador I1 de la subestación San Vicente el voltaje es de 13,8 kV, abarca un sector muy extenso y tiene interconexión con diferentes alimentadores de otras subestaciones, como los alimentadores de la subestación Otavalo para transferencia de carga. El alimentador brinda el servicio de energía eléctrica en la zona urbano marginal de la ciudad de Otavalo.[26]

El calibre del alimentador trifásico es ACSR. 1/0 (ASCR.4), cuya capacidad máxima de corriente es 230 Amperios, los cuales alimentan a transformadores de distribución trifásicos para cargas especiales en la ciudad de Otavalo, también hay transformadores monofásicos que satisfacen a los usuarios comerciales y residenciales que se encuentran cercanos a la ciudad, así como también alimenta el alumbrado público general y alumbrado público ornamental.[26]

En la figura 10. se puede observar es diagrama unifilar de la subestación San Vicente, tiene interconexiones con la subestación Atuntaqui y la subestación Otavalo. Las salidas de la



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



subestación San Vicente corresponde a 5 alimentadores principales y para realizar el análisis sobre el desbalance de cargas se tomó en cuenta el alimentador 1 (I1).

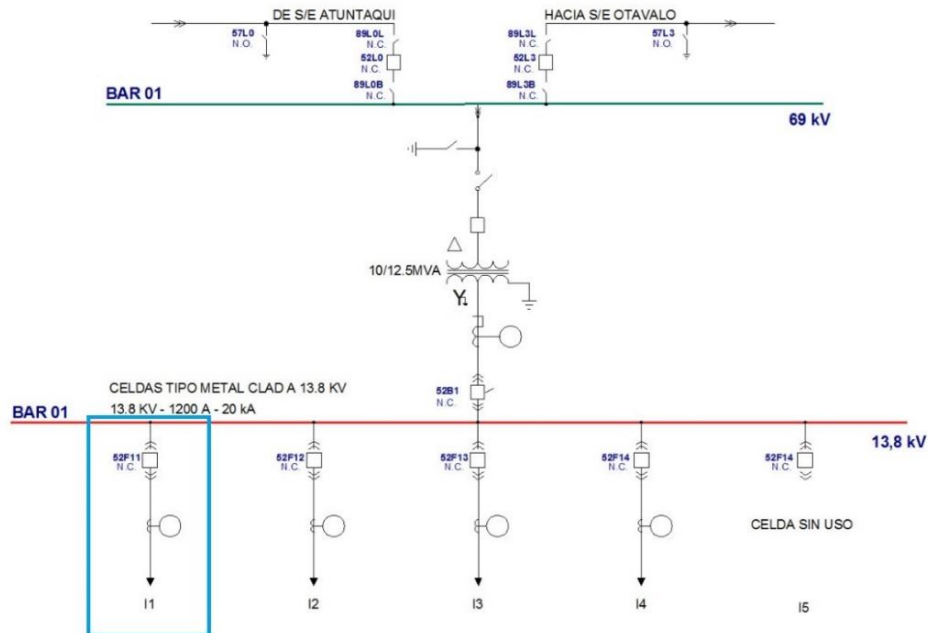


Fig. 10. Diagrama unifilar de la subestación San Vicente. [27]

### 3.2. Métodos científicos

Todo trabajo de investigación plantea el uso consciente y adecuado de los métodos investigativos, los mismos que ayudan a la comprensión del lector, para un mejor entendimiento del tema de estudio.[28]

#### 3.2.1. Tipos de investigación

La información documental permitió el análisis de dichos documentos que ayudan a solventar la información sobre el tema de estudio, se utilizó escritos como: informes, normas, tesis y planos que permitieron desarrollar una investigación más minuciosa sobre el tema.

La investigación de campo ayudó a la recopilación de datos directamente del entorno, esta investigación fue especialmente útil para obtener la información detallada sobre el alimentador I1 de la subestación San Vicente, permitiendo validar información de los planos que se obtuvo del ArcGIS sobre los componentes eléctricos que forman parte a lo largo del alimentador.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



### **3.2.2. Alcance de la Investigación**

La investigación explicativa ayudó a establecer relaciones de causa y efecto. Lo más importante fue relacionar el número de abonados del alimentador y los desbalances de carga que producían en el sistema. Debido a que existen muchos datos sin registro, esto no permite realizar un balance de cargas adecuado para que el sistema se encuentre correctamente equilibrado.

La investigación descriptiva permitió desglosar cada uno de los componentes que forman parte del alimentador San Vicente No. 1 para determinar su comportamiento y como este influye en el análisis de estudio que se está realizando sobre el desbalance de cargas.

### **3.2.3. Herramientas científicas**

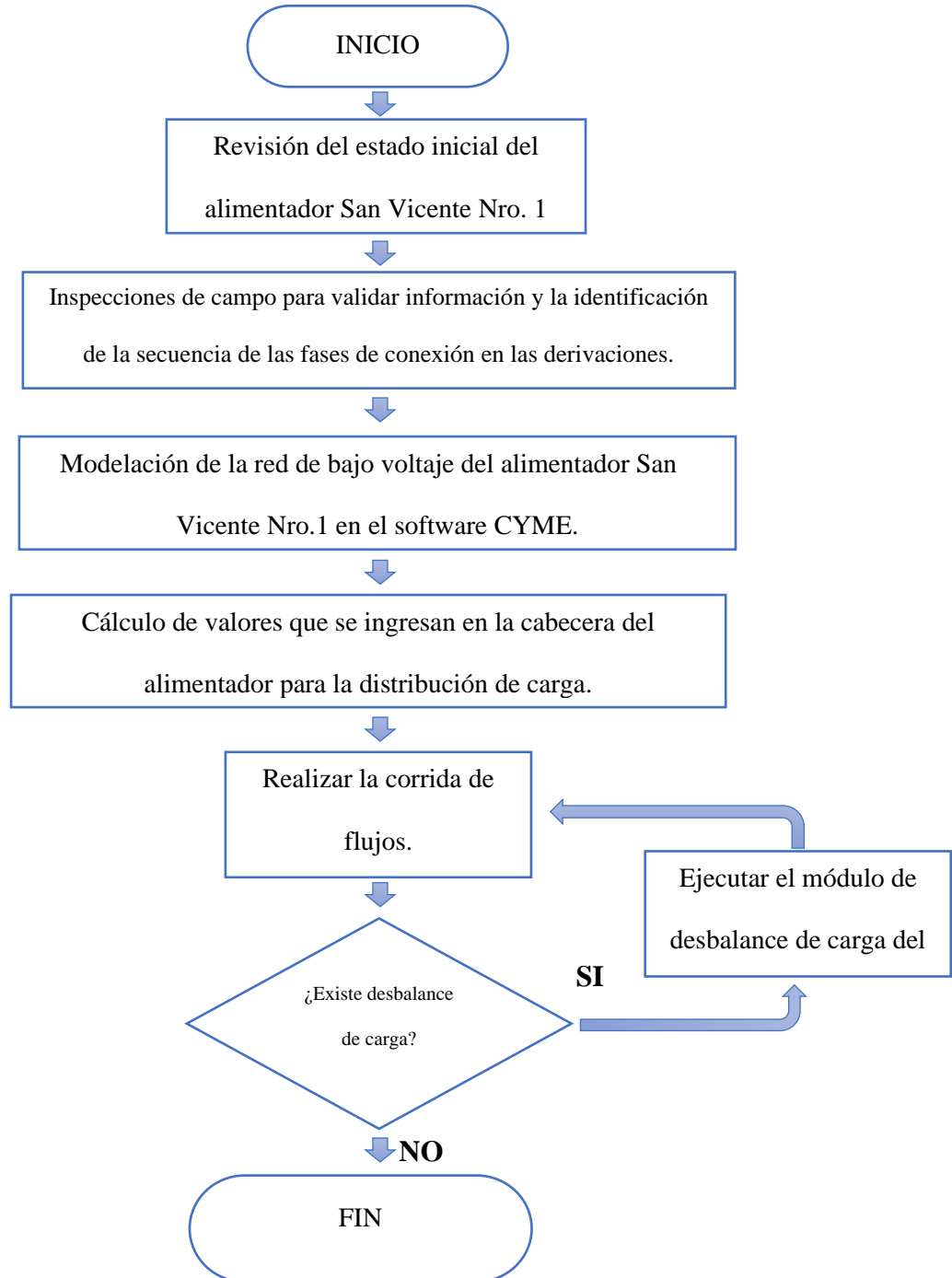
La observación se utilizó correctamente en la investigación, ya que es una herramienta valiosa para validar información sobre los datos recolectados en campo del alimentador II de la subestación San Vicente. Encontrando así abonados de diferentes estratos, transformadores sin conexión al sistema, líneas de distribución nuevas, conexiones de fases intercambiadas y proyectos en construcción sobre líneas de distribución.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**3.4 Metodología**





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



### 3.5. Materiales

Los materiales que fueron utilizados ayudaron a determinar un análisis minucioso y detallado de la información requerida para el estudio sobre el alimentador I1 de la subestación San Vicente.

#### 3.5.1. Equipos de maniobra

El sistema radial de distribución de energía eléctrica es considerado como el más utilizado en el país, ya que se encuentra constituido por derivaciones para la expansión de las redes y conexión de equipos eléctricos de bajo voltaje, los cuales suministran energía eléctrica a los usuarios finales. [29]

El equipo SPI-III es un identificador de fases, ayuda para asegurar consistencia y evitar inversión de fases en los cuales se encuentran tres tipos de medición que están asociadas a la identificación: [29]

- Identificación de fases: se puede conocer cada una de las fases del sistema trifásico, las fases pueden ser A, B, C. Las identificaciones de cada una de las fases se las realiza en dirección a la carga.
- Igualación o pareo de fases: se puede verificar la correspondencia en ambos extremos del sistema trifásico, se realiza en una o más fases individuales o equipos.
- Medición de ángulo de fase: se conoce con mayor exactitud el valor del ángulo de fase.

En la figura 11. SPI-III identificador de fase se observa el dispositivo que permitió validar información de la base de datos de ArcGIS, con la identificación de las fases A, B, C. Las identificaciones de las fases fueron realizadas en el campo.





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



Fig. 11. SPI-III Identificador de fase. [29]

El equipo de campo utiliza módulos SPI-III de despliegue y de medición, los módulos están compuestos por materiales muy resistentes para trabajar en campo y de gran calidad para soportar el voltaje de la red trifásica, soportando de 40 Kv a 70 kV en la red de medio voltaje y en bajo voltaje hasta 1000 V.[29]

En la figura 12. Se prespresenta el esquema de funcionalidad del Módulo donde se puede evidenciar los componentes que intervienen en su funcionamiento, la configuración del módulo dependerá del uso al cual este sea sometido.

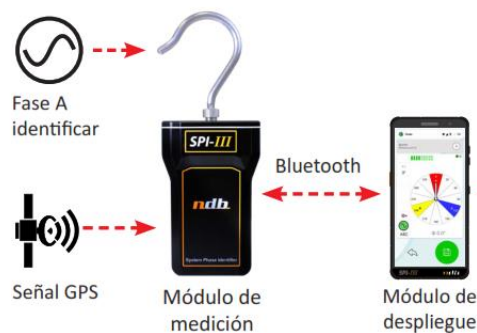


Fig. 12. Esquema de funcionalidad del módulo. [29]

### 3.5.2. Softwares utilizados

El software ArcGIS trabaja con una interfaz gráfica de ArcMap, donde son registradas las entradas de datos búsquedas y estadísticas geográficas, además de output (salida de información y mapas impresos). ArcGIS fue desarrollado por ESRI (Environmental Systems Research Institute),



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



empresa especializada en tecnologías de mapeo, es utilizado ampliamente en varias disciplinas de manera más efectiva para trabajar con datos geoespaciales.

CYMDIST es el paquete base para análisis de sistemas de distribución del software CYME, trabaja como una herramienta integral que proporciona a los ingenieros de distribución las aplicaciones clave para realizar estudios de planificación del sistema, simulaciones y análisis a diario del sistema de distribución de energía eléctrica.

El paquete CYME comprende diferentes análisis en los cuales se puede estudiar el balance de cargas, el cual es usado para determinar que cargas o tomas laterales pueden conectarse a diferentes fases con el fin de minimizar pérdidas, equilibrar la corriente, la carga o el voltaje y sobre la mejora de los objetivos con cada cambio que se realice.[30]

### 3.5.3. Ecuaciones matemáticas

Estas ecuaciones matemáticas del programa CYMDIST ayudan a equilibrar las cargas, equilibrar las corrientes y equilibrar las tensiones.[31]

- Fórmula para equilibrar las cargas, donde se desea reducir al mínimo el factor de desequilibrio en kVA por cada fase el factor de desequilibrio se calcula:

$$\text{Fact. de desequilibrio } kVA (\%) = \left( \frac{kVA \text{ circulante} - kVA \text{ circulante promedio}}{kVA \text{ circulante}} \right) \times 100$$

Fórmula 1. Factor de desequilibrio en kVA. [31]

- Fórmula para equilibrar las corrientes, la optimización cesa cuando el factor de desequilibrio de corrientes de todas las ubicaciones es inferior al factor de desequilibrio de corrientes mínima y la fórmula es:

$$\text{Fact. de desequilibrio de la corriente} (\%) = \left( \frac{\text{desviación de la corriente máxima de la corriente de línea promedio}}{\text{corriente de línea promedio}} \right) \times 100$$

Fórmula 2. Factor de desequilibrio de la corriente. [31]





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



- Fórmula para equilibrar las tensiones, la optimización cesa cuando el factor de desequilibrio de voltaje de todas las ubicaciones es inferior al factor de desequilibrio de voltaje mínima y su fórmula es:

$$\text{Fact. de desequilibrio de la tensión (\%)} = \left( \frac{\text{tensión de secuencia negativa}}{\text{tensión de secuencia positiva}} \right) \times 100$$

Fórmula 1. Factor de desequilibrio de la tensión. [31]

### 3.5.4. Información proporcionada

La información brindada por EMELNORTE ayuda a analizar datos sobre el estado inicial del alimentador San Vicente Nro.1. para realizar el estudio propuesto sobre el desbalance de cargas.

#### 3.5.4.1. Base de datos de ArcGIS

Base de datos de ArcGIS del mes de agosto del año 2023, para filtrar información referente al alimentador San Vicente No. 1. La información del alimentador sirve para realizar un análisis del estado primario de la red del sistema eléctrico de distribución de dicho alimentador. Extrayendo los planos sobre la extensión del alimentador permitirá validar información de la red, estado de conexión de los equipos y nuevas reestructuraciones para graficar en el CYMDIST y realizar el balance de cargas.

En la figura 13. Se puede evidenciar la base de datos proporcionada por el departamento GIS, para la extracción de información que permita realizar el estudio del alimentador en el software CYME.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

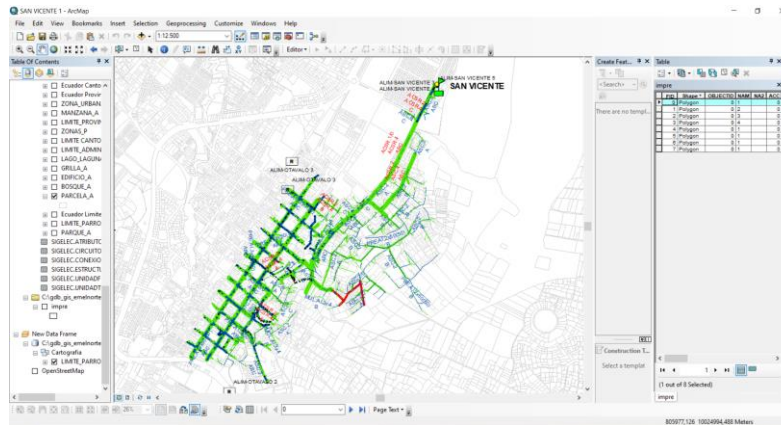


Fig. 13. Alimentador San Vicente No. 1. En ArcGIS. [32]

**3.5.4.2. Base de datos de CYME**

La base de datos del CYME abarca una gran cantidad de archivos sobre todos los alimentadores de todas las subestaciones, en la cual se encuentra archivos actualizados para el análisis de las redes de medio voltaje, también se agregó archivos para la modelación y análisis de la red de bajo voltaje.

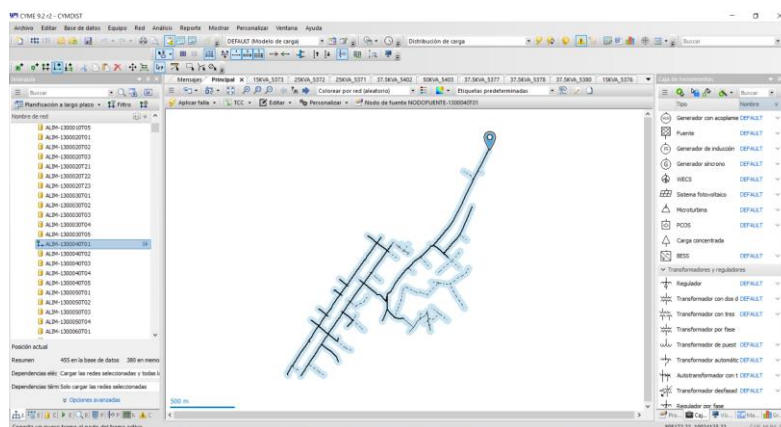


Fig. 14. Base de datos alimentador I1 en el CYME. [33]



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**3.5.4.3. Equipos existentes en el alimentador**

TABLA II

CATÁLOGO DE EQUIPOS DE EMELNORTE DEL ALIMENTADOR SAN VICENTE No.1

ALIM.SAN VICENTE 1			
MEDIDORES			
Monofásicos	Bifásicos	Trifásicos	Total, medidores
461	2517	97	3075

Nota: Medidores del alimentador San Vicente No. 1. [34]

TABLA III

CATÁLOGO DE EQUIPOS DE EMELNORTE DEL ALIMENTADOR SAN VICENTE No.1

ALIM.SAN VICENTE 1			
KM EN RED SECUNDARIA			
Monofásicos	Bifásicos	Trifásicos	Total, KM en red secundaria
12,124	0,149	8,864	21,134

Nota: Kilómetros de extensión de la red secundaria. [34]

**3.5.4.4. Porcentaje de desbalance del alimentador I1**

Los valores de desequilibrio de corriente en porcentaje se encuentran reflejados en la tabla IV. ya que encontramos valores representados por cada mes del año 2023. Los cuales fueron calculados para saber la cargabilidad de las corrientes que presenta el alimentador Nro.1 de la Subestación San Vicente.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



TABLA IV

VALORES DE DESBALANCE DE CORRIENTES DEL AÑO 2023

	MES	Intensidades (A)			I PROM	DIF A	DIF B	DIF C	> DIF	DESB CARGA	DESBALANCE DE CARGA EN %
		A	B	C							
<b>SAN VICENTE</b>	<b>ENERO</b>	55,3	56,6	58,2	56,7	1,4	0,1	1,5	1,5	0,027	2,7
	<b>FERBRERO</b>	53,8	56,1	61,8	57,2	3,5	1,1	4,6	4,6	0,080	8
	<b>MARZO</b>	59,6	60,3	63,1	61	1,4	0,7	2,1	2,1	0,034	3,4
	<b>ABRIL</b>	53,4	58,1	58,8	56,8	3,4	1,3	2	3,4	0,060	6
	<b>MAYO</b>	53,8	56,6	59,9	56,7	3	0,2	3,1	3,1	0,055	5,5
	<b>JUNIO</b>	53,4	57,8	58,9	56,7	3,3	1,1	2,2	3,3	0,058	5,8
	<b>JULIO</b>	54,2	56,7	60	57	2,8	0,2	3	3	0,053	5,3
	<b>AGOSTO</b>	53,6	62,9	60,9	59,1	5,6	3,8	1,8	5,6	0,094	9,4
	<b>SEPTIEMBRE</b>	54,6	58,4	60,8	57,9	3,3	0,4	2,9	3,3	0,057	5,7
	<b>OCTUBRE</b>	54,3	59,3	63,9	59,2	4,9	0,1	4,8	4,9	0,083	8,3
	<b>NOVIEMBRE</b>	54,1	58,4	67,1	59,9	5,8	1,5	7,2	7,2	0,121	12,1
	<b>DICIEMBRE</b>	53,1	72,4	65,7	63,7	10,6	8,7	1,9	10,6	0,167	16,7

NOTA: Tabla sobre el desbalance de cada una de las fases del sistema trifásico del alimentador II. [35]



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**CAPITULO IV**  
**Resultados y Análisis**

En el presente capítulo evidencia simulaciones para determinar los resultados, que determinan el cumplimiento del análisis de estudio sobre el desbalance de cargas del alimentador San Vicente No. 1.

**4.1. Modelado de la red de distribución de bajo voltaje en el software CYME**

Para la modelación de la red de bajo voltaje en el software CYME, se exportó los shapes la red de bajo voltaje del software Arc GIS que nos sirvieron de guía para el modelado de la red de BV, debido a que EMELNORTE no dispone de licencias que permitan migrar dichos datos del Arc GIS al CYME.

Se modeló todos los tramos del alimentador I1 de la Subestación San Vicente, en el programa CYME al alimentador I1 lo podemos encontrar con el nombre de ALIM-1300040T01 en el cual se encuentra modelado únicamente la red de medio voltaje. Una vez importados los shapes fueron montamos archivos más recientes a la base de datos para el modelado de la red de BV.

Creamos vistas imbricadas para simular fuetes a una red, en el interior de la vista se modeló la red de BV de cada una de las extensiones de los transformadores con sus respectivas características, creando redes secundarias, tramos de bajo voltaje y cargas concentradas simulando a los puntos de carga o medidores de los usuarios consumidores con sus respectivos consumos promedios anuales.

En la figura 15. Se puede observar el modelado de la red de bajo voltaje en las vistas en brincadas, ayudándonos de los shapes de guía para los tramos de bajo voltaje.



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD

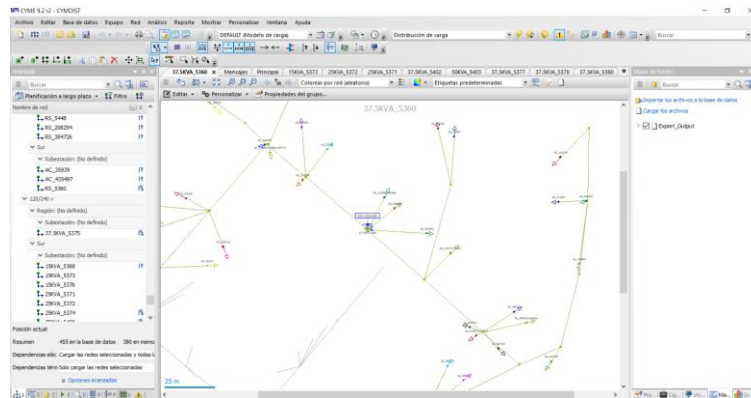


Fig. 15. Modelado de la red de bajo voltaje de cada uno de los transformadores.

#### 4.2. Cálculo de valores para la cabecera del alimentador

Los datos fueron extraídos del sistema de medición correspondientes a la subestación San Vicente del alimentador I1, estos valores constan a todo el año del 2023, representados meses a mes con mediciones cada cinco minutos, para un mejor análisis del sistema.

TABLA V

VALORES DE CORRIENTES, VOLTAJES Y FACTOR DE POTENCIA A DEMANDA MÁXIMA DEL AÑO 2023

MES	kW tot Mx	IA	IB	IC	PF sign A	PF sign B	PF sign C	Vll ab	Vll bc	Vll ca
ENERO	1227,11	51,62	55,6	56,11	97	96	97	13340	1361	13430
FEBRERO	1288,46	52,72	54,8	61,79	97	97	98	13030	13310	13100
MARZO	1359,42	58,63	60,3	60,83	96	95	96	12980	13230	13070
ABRIL	1269,13	48,79	51,4	56,69	97	97	97	13050	13390	13170
MAYO	1281,31	52,32	54,9	57,82	97	97	98	13080	13400	13200
JUNIO	1275,18	50,71	57,8	56,19	98	97	97	13270	13580	13390
JULIO	1257,81	50,73	53,1	58,14	97	97	97	13130	13440	13240
AGOSTO	1254,3	49,31	56,2	55,75	97	96	96	13180	13460	13310
SEPTIEMBRE	1322,56	52,62	56,3	60,78	96	97	97	13220	13520	13320
OCTUBRE	1315,26	53,16	57,5	59,76	97	97	97	12940	13230	13040
NOVIEMBRE	1312,37	51,42	57,2	67,13	96	98	97	13000	13310	13090
DICIEMBRE	1371,26	52,02	68,7	58,36	97	97	97	13130	13430	13240
<b>PROMEDIO</b>		<b>52</b>	<b>57</b>	<b>59,11</b>	96,83	96,75	97	13113	12388,42	13216,67
<b>pu</b>					<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,95</b>	<b>0,9</b>	<b>0,96</b>



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



En la tabla V. Encontramos los valores de potencia máxima que se produjo en cada uno de los meses del año 2023. Estos valores son extraídos del sistema de medición y permiten determinar en qué tiempo fue la demanda máxima del sistema, para analizar valores de corrientes, voltajes y factor de potencia de cada una de las fases A, B, C. Se determina el promedio de las corrientes, el promedio de los factores de potencia y transformados a pu, el promedio de los voltajes y transformados en pu, los cuales serán ingresados en la cabecera del alimentador para que pueda realizarse la distribución de carga en el software y que lleguen valores de consumo a cada una de las cargas concentradas.

Los valores promedio de las corrientes, de factor de potencia en pu y voltajes en pu están resaltados en negrillas que se encuentran calculados al final de la tabla V. son los que se ingresó en la cabecera del alimentador para el análisis del sistema.

#### **4.3. Distribución de carga y Corrida de flujo**

Con el modelado de la red de bajo voltaje y las cargas correspondientes con datos de consumo, se trabajó el Excel proporcionado por el jefe de estudios eléctricos que contenían datos extraídos mensualmente del medidor de la Subestación San Vicente por personal de SCADA y dichas mediciones son cada cinco minutos. Se toma como referencia el valor de potencia máxima para extraer valores de corrientes, voltajes convertidos a pu. y factor de potencia de cada una de las fases del sistema.

Los valores fueron ingresados en la cabecera del alimentador para ejecutar la distribución de carga, permitiendo así dar un determinado valor de corriente y voltaje a cada una de las cargas conectadas al sistema.

En la figura 16. Se realizó una distribución de carga para que los valores de corrientes, voltajes y factor de potencia del sistema trifásico que fueron ingresados en la cabecera del alimentador puedan alimentar a las cargas concentradas.





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

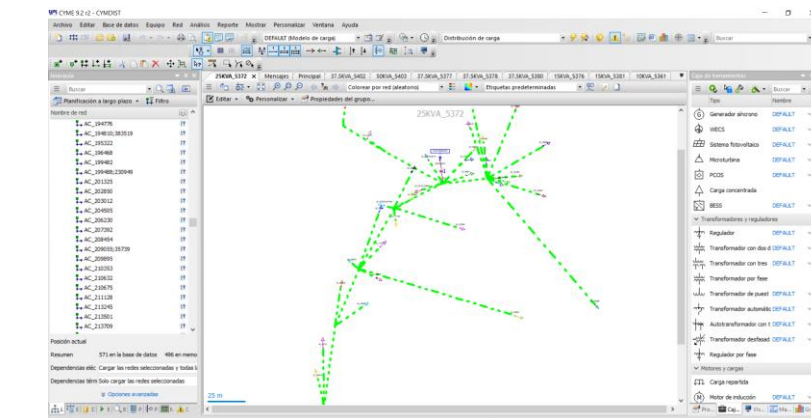


Fig. 16. Distribución de carga de la simulación en el software CYME.

En la figura 17. Se puede observar la corrida de flujo que se ejecuta después de cambios realizadas con cada modificación que se le haga al sistema para mejorar el estado del alimentador.

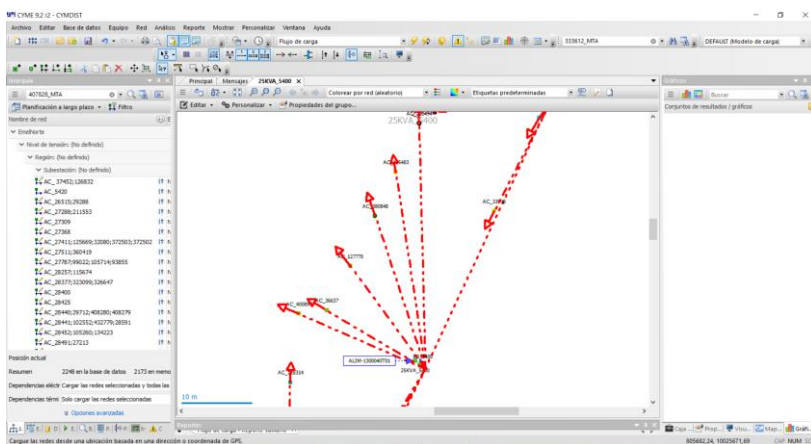


Figura 17. Corrida de flujo en el software CYME.

**4.4. Análisis de la red de medio y bajo voltaje para el balance de cargas**

Con la distribución de carga que se realizó se pudo evidenciar que los valores de voltajes y corrientes son diferentes entre cada una de las fases del sistema trifásico del alimentador I1 de la subestación San Vicente.





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**4.4.1. Estado inicial del sistema**

Se partió de un estado inicial del sistema donde se determinó que las fases se encontraban desbalanceadas al comparar las corrientes del alimentador.

En la figura 18. Se puede evidenciar la configuración de la tabla con sus respectivas siglas de cada uno de los valores que se reflejaron en la figura 19. Flujo de carga.



Fig. 18. Configuración siglas para evidenciar valores.

En la figura 19. Se puede observar los valores de algunos parámetros eléctricos que fueron configurados de acuerdo con las siglas de la figura 18. Donde encontramos valores desfasados de las corrientes del sistema trifásico ya que estos valores de la fuente corresponden al promedio del desequilibrio de todo el año del 2023 los cuales se ingresaron en la cabecera del alimentador.

Cuadro de flujo de carga

Fuente - NODOFUENTE-1300040T01

Especificación	Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	KVAR
Promedio	0,937	12,9	7,5	56,0	1255	1217	305
A	0,950	12,8	7,6	52,1	394,6	382,8	95,5
B	0,900	12,8	7,2	56,9	407,9	395,5	99,5
C	0,960	13,2	7,6	59,1	452,2	438,7	109,9

Fig. 19. Datos sobre el flujo de carga.

Con la ayuda del módulo de Análisis básico de las redes de distribución-Guía del usuario, se realizó el balance de cargas del sistema de distribución en el software CYME para que los valores de corriente y voltaje entre cada una de las fases trifásicas sean más similares.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



Tomando como referencia el promedio de las tres corrientes de las fases A, B, C del alimentador II, el cual lo podemos encontrar en la primera fila-cuarta columna de la figura 19. Siendo el valor de 56 Amperios el promedio de las tres fases. La corriente de la fase A y la corriente de la fase C se encuentran en desbalance con respecto a la corriente de la fase B, se reconfiguró el sistema mediante la reconexión de tramos bifásicos y monofásicos de la fase C hacia la fase A para que las corrientes sean similares y por ende las cargas queden balanceadas.

#### **4.4.2. Análisis en redes primarias o de medio voltaje**

El análisis en las redes de medio voltaje consta de una serie de pruebas realizadas para el balanceo de cargas, el cual se tomó como referencia las corrientes para poder cambiar de fase a los tramos bifásicos y monofásicos. En la Fig. 19. Se puede observar que la corriente de la fase C es la más alta y la corriente de la fase A es la menor de todas, eso quiere decir que debemos pasar carga de la fase C hacia la fase A para que esta aumente la corriente.

Se eligió todos los tramos monofásicos de la fase C para realizar pruebas de balanceo de cargas, pero hay que considerar datos que se acoplen a las necesidades requeridas, es decir para poder transferir entre 3 y 4 Amperios de la fase C hacia la fase A.

##### **4.4.2.1. Análisis en tramos superiores a 4 amperios**

Los tramos monofásicos de la fase C superiores a 4 amperios fueron analizados para cambiarlos de fase, posterior a esto se revisó el comportamiento del sistema y las cargas no se balancearon correctamente debido a que las corrientes que se desea pasar a otra fase son muy elevadas con respecto a lo antes mencionado.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



TABLA VI

VALORES DE BALANCE DE CORRIENTES CON TRAMOS SUPERIORES A 4 AMPERIOS

	TRAMO	FASE INICIAL	FASE FINAL	IA	IB	IC	I PROMEDIO
F.C. INICIAL				<b>52</b>	<b>56,98</b>	<b>59,11</b>	<b>56,03</b>
MOD.1	<b>326957_MTA (15,4 A)</b>	C	A	67,4	56,98	43,71	<b>56,03</b>
MOD.2	<b>326938_MTA (6,1 A)</b>	C	A	73,5	56,98	37,61	<b>56,03</b>
MOD.3	<b>438244_MTA (19 A)</b>	C	A	92,5	56,98	18,61	<b>56,03</b>
MOD.4	<b>333598_MTA (4,5 A)</b>	C	A	56,5	56,98	54,61	<b>56,03</b>

En la tabla VI. encontramos todos los tramos de la fase C los cuales superan a los 4 Amperios individualmente. Cada tramo tiene un valor de consumo de corriente, en la modificación 1 se cambia de fase al primer tramo transfiriendo los 15,4 Amperios de la fase C hacia la fase A y se ve el comportamiento del sistema, donde se puede apreciar el desequilibrio de las corrientes IA, IB, IC. Se realizaron análisis con todos estos tramos de la fase C que superan los 4 Amperios transfiriendo cada uno de los valores de corrientes, pero como se observa en la tabla anterior ninguno de los tramos ayuda a mejorar el balance del sistema y se procedió a seleccionar tramos de menor consumo de corriente.

En los cambios de fase se realizó la primera modificación y como los resultados no fueron los esperados se regresó al estado inicial para aplicar la segunda modificación y así con los demás tramos restantes.

**4.4.2.2. Análisis en tramos inferiores a 4 amperios como posibles tramos a transferir**

Los tramos monofásicos de la fase C inferiores a los 4 Amperios fueron analizados para ser cambiados de fase, posterior se revisó el comportamiento del sistema y se determinó que el balance de cargas es satisfactorio ya que las corrientes que circula por los tramos seleccionados se ajustan a las necesidades requeridas.



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



TABLA VII

VALORES DE BALANCE DE CORRIENTES CON TRAMOS INERIORES A 4 AMPERIOS

	TRAMO	FASE INICIAL	FASE FINAL	IA	IB	IC	I PROMEDIO
F.C. INICIAL				52	56,98	59,11	56,03
MOD.1	407828_MTA (1 A)	C	A	53	56,98	58,11	56,03
MOD.2	548305_MTA (0,2 A)	C	A	53,2	56,98	57,91	56,03
MOD.3	333612_MTA (2,5 A)	C	A	55,7	56,98	55,41	56,03
MOD.4	513268_MTA (0,6 A)	B	C	55,9	56,38	55,8	56,03

En la tabla VII. podemos observar los cambios de fase que se realizaron a los tramos, en la modificación 1 se elige el tramo de medio voltaje 407828 del alimentador I1 y se cambia la conexión pasando carga de la fase C a la fase A. En la modificación 2 se elige el tramo de medio voltaje 548305 del alimentador I1 y se cambia la conexión pasando carga de la fase C a la fase A. En la modificación 3 se selecciona el tramo de medio voltaje 333612 para transferir carga de la fase C a la fase A. En la modificación 4 es esencial transferir carga en el tramo de medio voltaje 513268 de la fase B a la fase C para equilibrar más el sistema, sin este último cambio la corriente no se balancea al máximo, cada vez que se realizaba el cambio de fase para la transferencia de carga se procedía a realizar una corrida de flujo para revisar los valores de balance de la corriente de cada una de las fases del sistema trifásico del alimentador Nro. 1 de la subestación San Vicente.

En los cambios de fase se realizó la primera modificación y como los resultados si fueron los esperados se decidió aplicar la segunda modificación y así con los demás tramos restantes hasta obtener valores más aproximados al promedio de las tres corrientes.

#### 4.4.3. Análisis en redes secundarias o de bajo voltaje

Una vez modelada la red de bajo voltaje en el software CYME ésta se agrega automáticamente a la sección de ubicaciones para que pueda ser tomada en cuenta cuando se realice el balance de cargas. Se utilizó el módulo de balance de cargas, en el apartado se encuentran diferentes opciones sobre cómo mejorar el sistema, se seleccionó equilibrio de cargas y se eligió los parámetros de análisis que sugiere el manual de usuario para ejecutar el programa, una vez



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



terminado el análisis se procedió a realizar los cambios que sugiere el software, posterior a esto se realizó una corrida de flujo después se extrajo el reporte del mismo y se analizó el equilibrio de corrientes, para llegar a la conclusión si esto fue beneficioso para mejorar el sistema o caso contrario buscar otro opción de mejora.

En la figura 20. Se puede observar la ejecución del programa para el análisis de equilibrio de cargas en el software CYME en la red de bajo voltaje, donde ya sugiere cambios a realizarse.

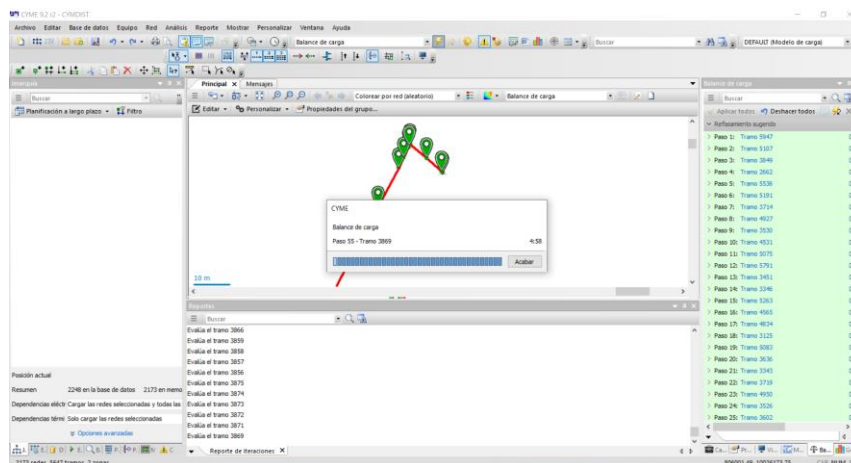


Fig. 20. Análisis de equilibrio de corrientes en bajo voltaje en el software CYME.

#### 4.5. Resultados sobre el balance de cargas

Para el análisis del desbalance de cargas se ejecutó el método de transferencia de cargas y reconexión de fases, ya que permitió mejorar considerablemente los valores de las corrientes en el sistema trifásico del alimentador II de la subestación San Vicente.

##### 4.5.1. Resultados en red primaria o de medio voltaje

En la figura 21. Se puede representar un cuadro de flujo ya con las corrientes de las fases A, B, C, correctamente balanceadas para que el sistema de energía eléctrica pueda brindar una mejora en la calidad de servicio.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



Cuadro de flujo de carga

Fuente - NODOFUENTE-1300040T01							
Especificación	Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
Promedio	0,937	12,9	7,5	56,0	1255	1217	305
A	0,950	12,8	7,6	55,9	423,3	410,9	101,8
B	0,900	12,8	7,2	56,4	404,6	391,8	101,2
C	0,960	13,2	7,6	55,8	426,7	414,4	101,8

Fig. 21. Cuadro de flujo con las corrientes equilibradas.

Las corrientes que se encuentran en cuarta columna de la figura 21. se encuentran correctamente balanceadas debido a que los valores son muy similares al promedio de las tres, con las reconexiones de fases para la transferencia de carga se puede dar a conocer que fue un método de gran eficiencia para mejorar el sistema ya que este pueda brindar mejor calidad de energía eléctrica.

A continuación, se presenta el reporte sumario del flujo de cargas para tener más a detalle las mejoras de la red de medio voltaje.

TABLA VIII

**FLUJO DE CARGA – REPORTE SUMARIO EN MV**

Parámetros del estudio	
Nombre del estudio	
Fecha	05/06/2024
Tiempo	8:27
Nombre del proyecto	Nuevo
<b>Método de cálculo</b>	<b>Caída de tensión - Desequilibrada</b>
Precisión	0,1 %
Factores de carga	Global (P=100,00%, Q=100,00%)
Factores de motor	Como definido
Factores de generador	Como definido
Condensadores shunt	On
Modelo de carga de sensibilidad	De la biblioteca



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



En la tabla VIII. se puede observar el método de cálculo que se utilizó al momento de ejecutar el programa, cabe recalcar que las cargas concentradas se las conecto acorde a su consumo.

TABLA IX

## FLUJO DE CARGA – REPORTE SUMARIO EN MV

Resumen total	kW	kvar	kVA	FP(%)
Fuentes (Potencia de equilibrio)	1216,98	304,74	1254,56	97,00
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Producción total</b>	<b>1216,98</b>	<b>304,74</b>	<b>1254,56</b>	<b>97,00</b>
Carga leída (no regulada)	1252,16	277,30	1282,50	97,63
Carga utilizada (regulada)	1104,36	214,27	1124,95	98,17
Condensadores shunt (regulados)	0,00	0,00	0,00	0,00
Reactancias shunt(reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cargas totales</b>	<b>1104,36</b>	<b>214,27</b>	<b>1124,95</b>	<b>98,17</b>
Capacitancia del cable	0,00	-0,15	0,15	0,00
Capacitancia de la línea	0,00	-4,48	4,48	0,00
<b>Capacitancia shunt total</b>	<b>0,00</b>	<b>-4,63</b>	<b>4,63</b>	<b>0,00</b>
Pérdidas en las líneas	31,83	24,66	40,27	79,05
Pérdidas en los cables	36,97	10,67	38,48	96,08
Pérdidas de carga del transformador	30,97	48,63	57,66	53,72
Pérdidas en vacío del transformador	12,86	11,14	17,01	75,58
<b>Pérdidas totales</b>	<b>112,62</b>	<b>95,10</b>	<b>147,41</b>	<b>76,40</b>

En la tabla IX. Se puede evidenciar más a detalle valores mejorados por el balance de cargas que se realizó manualmente en la red de medio voltaje.

#### 4.5.2. Resultados en redes de bajo voltaje

En la figura 22. Se puede observar un cuadro de flujo ya realizado el balance de corrientes con el módulo guía, ya que cuando este termina de ejecutar el proceso, sugiere cambios a realizarse





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



y los cuales fueron aplicados para ver el comportamiento del sistema eléctrico en los tramos de bajo voltaje.

Cuadro de flujo de carga

Fuente - NODOFUENTE-1300040T01

Especificación	Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
Promedio	0,937	12,9	7,5	47,0	1052	1034	192
A	0,950	12,8	7,6	49,3	373,2	355,6	113,3
B	0,900	12,8	7,2	48,4	347,1	346,8	-13,5
C	0,960	13,2	7,6	45,0	344,1	331,4	92,5

Fig. 22. Cuadro de flujo con el equilibrio de corrientes en bajo voltaje.

Con la finalización de los cambios aplicados en la red de bajo voltaje se logró obtener una mejora considerable en el sistema ya que las corrientes no están correctamente equilibradas pero las cueles no superan el 10% de desfase entre cada una de ellas, pero cabe recalcar que en la mayoría de los sistemas de distribución todos los análisis de mejora están enfocados en brindar calidad de servicio y reducción de pérdidas para evitar incumplimientos con las regulaciones, es por eso que el módulo ayudo a reducir considerablemente las pérdidas ya que esto representa un costo a la empresa eléctrica de distribución EMELNORTE S.A.

Como se puede observar en la figura 22. las corrientes IA, IB, IC, del sistema se redujeron, esto se debe a que se bajó el requerimiento de la carga y la corriente es directamente proporcional a la potencia por ende los valores de potencia reducen también.

A continuación, se presenta el reporte sumario del flujo de cargas para tener más a detalle las mejoras de la red de bajo voltaje.





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



TABLA X

FLUJO DE CARGA – REPORTE SUMARIO EN BV

Parámetros del estudio	
Nombre del estudio	
Fecha	10/06/2024
Tiempo	8:26
Nombre del proyecto	Nuevo
<b>Método de cálculo</b>	<b>Caída de tensión - Desequilibrada</b>
Precisión	0,1 %
Factores de carga	Global (P=100,00%, Q=100,00%)
Factores de motor	Como definido
Factores de generador	Como definido
Condensadores shunt	On
Modelo de carga de sensibilidad	De la biblioteca

En la tabla X. Se puede observar que para el análisis de la red de bajo voltaje se utilizó el mismo método de caída de tensión desequilibrada, ya que en este caso el módulo de balance de cargas si realizó sugerencias de cambios a realizarse los cuales eran ejecutados en la des de bajo voltaje.

Se aplicó todos los cambios sugeridos por el software ya que no se puede aplicar uno por uno y correr el flujo para revisar el comportamiento del sistema, las corrientes se desbalancearon un poco pero no exceden el límite permitido sobre el desbalance.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



TABLA XI

## FLUJO DE CARGA – REPORTE SUMARIO EN BV

Resumen total	kW	kvar	kVA	FP(%)
Fuentes (Potencia de equilibrio)	1033,83	192,23	1051,55	98,31
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Producción total</b>	<b>1033,83</b>	<b>192,23</b>	<b>1051,55</b>	<b>98,31</b>
Carga leída (no regulada)	1044,72	149,79	1055,41	98,99
Carga utilizada (regulada)	950,30	122,39	958,14	99,18
Condensadores shunt (regulados)	0,00	0,00	0,00	0,00
Reactancias shunt(reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cargas totales</b>	<b>950,30</b>	<b>122,39</b>	<b>958,14</b>	<b>99,18</b>
Capacitancia del cable	0,00	-0,15	0,15	0,00
Capacitancia de la línea	0,00	-4,49	4,49	0,00
<b>Capacitancia shunt total</b>	<b>0,00</b>	<b>-4,65</b>	<b>4,65</b>	<b>0,00</b>
Pérdidas en las líneas	25,40	19,53	32,05	79,27
Pérdidas en los cables	19,04	3,09	19,29	98,71
Pérdidas de carga del transformador	26,19	40,71	48,41	54,11
Pérdidas en vacío del transformador	12,89	11,15	17,05	75,63
<b>Pérdidas totales</b>	<b>83,53</b>	<b>74,48</b>	<b>111,92</b>	<b>74,64</b>

En la tabla XI. Se puede representar valores corregidos ya realizado el balance de cargas aplicando el módulo, donde se encontró una reducción significativa de pérdidas en la red primaria o de medio voltaje.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



## Conclusiones

- Los factores principales que causan los desbalances de carga en el alimentador Nro.1 de la Subestación San Vicente incluyen una distribución desigual de las cargas entre cada una de las fases A, B, C, variaciones en el consumo de los usuarios conectados y la configuración de la infraestructura eléctrica existente. Estas causas han sido identificadas mediante el análisis y monitoreo de los datos de consumo y las características técnicas de la red.
- El uso del software CYME Cymdist para rediseñar las redes primarias del alimentador Nro.1 de la Subestación Vicente ha permitido modelar y simular diferentes escenarios de carga. Esto ha demostrado ser eficaz para identificar los puntos críticos de desbalance y proponer cambios específicos en la configuración de la red, lo cual mejora significativamente la distribución de cargas reduce las pérdidas de energía del sistema y mejora la calidad del servicio eléctrico.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



### Recomendaciones

- La implementación de un sistema de monitoreo continuo en las redes primarias y secundarias para detectar desbalances en tiempo real. Esto permitirá tomar medidas correctivas inmediatas y evitará que los desbalances afecten la calidad de servicio eléctrico y la durabilidad en los equipos.
- Utilizar herramientas avanzadas de análisis y simulación para optimizar la distribución de cargas entre las diferentes fases del alimentador. La implementación de un sistema de gestión de energía y tecnología de redes inteligentes puede ayudar a balancear cargas y mejorar la eficiencia del sistema.
- Invertir en la capacitación continua del personal técnico en el uso de nuevas tecnologías y metodologías de diagnóstico y rediseño de red. Esto incluye el manejo de software especializado como CYME y ArcGIS, así como también la adopción de mejores prácticas en la gestión y operación de redes eléctricas.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



## Referencias

- [1] ARCERNNR, “RESOLUCIÓN Nro. ARCERNNR-002/2020”, 2020. Consultado: el 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/02/Anexo-003-2023-Codificacion-Regulacion-002-20\\_rev-DE-signed.pdf](https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/02/Anexo-003-2023-Codificacion-Regulacion-002-20_rev-DE-signed.pdf)
- [2] Emelnorte, “PLAN DE EXPANSIÓN Y MEJORA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE EMELNORTE S.A. 2021-2030”, 2020. Consultado: el 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.emelnorte.com/emelnorte/index.php/rendicion-de-cuentas/category/26-rendicion-de-cuentas-2021?download=3019:informe-de-rendicion-de-cuentas-2021>
- [3] P. López, “PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL SERVICIO TÉCNICO DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL ECUADOR”, 2018. Consultado: el 14 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19519/1/CD-8911.pdf>
- [4] R. Ruiz, “EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE S.A. INFORME EJECUTIVO RENDICIÓN DE CUENTAS”, 2021. Consultado: el 14 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.emelnorte.com/emelnorte/index.php/rendicion-de-cuentas/category/26-rendicion-de-cuentas-2021?download=3019:informe-de-rendicion-de-cuentas-2021>



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



- [5] I. Pérez, R. Herrera, y O. Álvarez, “Balanceo de Fases en Circuitos de Distribución de Santa Clara”, núm. 3, pp. 1–10, 2017. Consultado: el 14 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rie/v38n3/rie04317.pdf>
- [6] R. y L. Espinosa, *Sistemas de Distribución*, vol. capítulo 2. 2023. Consultado: el 28 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/25321635/Sistemas\\_de\\_Distribuci%C3%B3n\\_Roberto\\_Espinosa\\_y\\_Lara\\_](https://www.academia.edu/25321635/Sistemas_de_Distribuci%C3%B3n_Roberto_Espinosa_y_Lara_)
- [7] CENACE, “RENDICIÓN DE CUENTAS 2018”, Quito, feb. 2018. Consultado: el 16 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/06/rendicin-de-cuentas-cenace-2018-vf\\_compressed-1.pdf](https://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/06/rendicin-de-cuentas-cenace-2018-vf_compressed-1.pdf)
- [8] L. Bohórquez, “DIAGNÓSTICO DE LAS REDES DE MEDIA TENSIÓN, ACOMETIDAS PRINCIPALES DE BAJA TENSIÓN, ALUMBRADO EXTERIOR Y EQUIPOS ESPECIALES DEL CAMPUS CAJICÁ DE LA UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA”, 2020. Consultado: el 17 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24816/INFORME-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [9] X. Estévez, “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA”, Quito, 2019. Consultado: el 17 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20351>



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



- [10] Electrónica f, “Sistema de Distribución de Energía Eléctrica | Radial y Anillo Principal”. Consultado: el 16 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.electronicafacil.top/utilidades/sistema-de-distribucion-de-energia-electrica-radial-y-anillo-principal/>
- [11] A. Narvaez y D. Pazmiño, “Diseño de un Sistema de Subtransmisión Configuración en Anillo para la Región Litoral”, 2020. Consultado: el 17 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/57225/1/T-113138%20NARVAEZ%20-%20PAZMI%c3%91O.pdf>
- [12] A. Nakashima, “Automatismo de Redes de Distribución.”, 2020. Consultado: el 17 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/6ac43331-3402-4367-b35c-c89b6553cf17/content>
- [13] J. Aviles, “Ubicación óptima de reconectores y seccionadores en alimentadores urbanos en redes de distribución eléctrica para mejorar los indicadores de calidad del servicio técnico”, Guayaquil, 2021. Consultado: el 17 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20374>
- [14] K. Encinas, “Diseño e Implementación de un prototipo de lentes con realidad aumentada que contribuya al nuevo personal para realizar mantenimiento de tableros eléctricos en subestaciones de distribución del tipo interior”, 2020. Consultado: el 19 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en:



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CARRERA DE ELECTRICIDAD



[https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3420/Kayna%20Encinas\\_Tesis\\_Titulo%20Profesional\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3420/Kayna%20Encinas_Tesis_Titulo%20Profesional_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- [15] J. Huera, “ESTUDIO DE UBICACIÓN ÓPTIMA DE CAPACITORES PARA LOS ALIMENTADORES DE LA SUBESTACIÓN CAYAMBE DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE.”, Ibarra, 2021. Consultado: el 17 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/11250/2/04%20MEL%20112%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- [16] P. Pérez, *Transformadores de Distribución*, vol. 3ra EDICIÓN. 2020. Consultado: el 14 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=kF8OEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP5&dq=definicion+de+transformadores+de+distribuci%C3%B3n&ots=Ts8Rf05IXm&sig=YEk9L\\_3SOo7StuqYzGQ6FJsBisE#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=kF8OEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP5&dq=definicion+de+transformadores+de+distribuci%C3%B3n&ots=Ts8Rf05IXm&sig=YEk9L_3SOo7StuqYzGQ6FJsBisE#v=onepage&q&f=false)
- [17] J. Yebra, *Sistemas Eléctricos de Distribución*. 2021. Consultado: el 15 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=miQuEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=sistemas+de+distribucion+electrica&ots=1bGqQQJiFk&sig=GrQjdFclU\\_X6wvS7GToBtU77WiM#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=miQuEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=sistemas+de+distribucion+electrica&ots=1bGqQQJiFk&sig=GrQjdFclU_X6wvS7GToBtU77WiM#v=onepage&q&f=false)
- [18] Revista Canarias7.es, “Comparación del impacto visual de redes eléctricas aéreas vs. redes subterráneas”, p. 1, 2020, Consultado: el 15 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://eadic.com/blog/entrada/cables-subterraneos-de-alta-tension-los-cables-del-futuro/>





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



- [19] ARCERNNR, “Regulacion-Nro.-ARCONEL-001\_2020-Codificada”, pp. 1–74, 2020, Consultado: el 15 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/07/12.-Regulacion-Nro.-ARCONEL-001\\_2020-Codificada.pdf](https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/07/12.-Regulacion-Nro.-ARCONEL-001_2020-Codificada.pdf)
- [20] ARCERNNR, “REGULACIÓN Nro. ARCERNNR-008/23”, 2023. Consultado: el 15 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/11/Regulacion-Nro.-ARCERNNR-008-23-signed1.pdf>
- [21] ARCERNNR, “REGULACIÓN NRO. ARCERNNR-007/23”, 2023. Consultado: el 15 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/07/27.-Regulacion-Nro.-ARCERNNR-007\\_23.pdf](https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/07/27.-Regulacion-Nro.-ARCERNNR-007_23.pdf)
- [22] A. CARRILLO, “IMPACTO DEL DESBALANCE DE CARGAS EN LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”, 2020. Consultado: el 15 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/2577/1/2020\\_AlexisCarrillo](http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/2577/1/2020_AlexisCarrillo)
- [23] P. Juárez, “DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS COMPARATIVO DE DOS MÉTODOS DEL CÁLCULO Y MEDICIÓN DEL DESBALANCE DE CORRIENTE EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE DE ENERGÍA EN GUATEMALA”, pp. 1–94, 2023, Consultado: el 15 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en:



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



<http://www.repositorio.usac.edu.gt/19298/1/Pablo%20Roberto%20Ju%C3%A1rez%20C hen.pdf>

- [24] P. Duarte, “ANÁLISIS DE IMPACTO DEL DESBALANCE Y ACOMODO DE CARGAS PARA USUARIOS DE LA EMPRESA CENTRALES ELÉCTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER”, 2021. Consultado: el 6 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: [http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/5083/1/Duarte\\_2021\\_TG.pdf](http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/5083/1/Duarte_2021_TG.pdf)
- [25] Google Maps, “zona cubierta por el alimentador I1”, p. 1, 2023, Consultado: el 15 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com/maps/@0.2386057,-78.2521387,18z?authuser=0&entry=ttu>
- [26] EMELNORTE S.A., “PLAN DE EXPANCIÓN Y MEJORA DEL SISTEMA DE SUBTRANSMISIÓN DE EMELNORTE S.A.”, IBARRA, 2021.
- [27] EMELNORTE S.A., “DIAGRAMA UNIFILAR EMELNORTE”, 2022.
- [28] A. López, “Acerca de los métodos teóricos y empíricos de investigación\_ significación para la investigación educativa”, pp. 1–10, 2021, Consultado: el 24 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/2133/2079>
- [29] NDB TECHNOLOGIES INC, *SPI-III Manual de Usuario*. 2023. [En línea]. Disponible en: [www.ndbtech.com](http://www.ndbtech.com)



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



- [30] CYME, “Análisis de sistemas de distribución CYMDIST”, 2023. Consultado: el 16 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cyme.com/es/software/cymdist/>
- [31] CYME, “CYME 7.2-Análisis básicos de redes de distribución-Guía del Usuario”, 2023. [En línea]. Disponible en: [www.eaton.com](http://www.eaton.com)
- [32] ArcGIS, “ALIMENTADOR SAN VICENTE No. 1.”, 2023.
- [33] Estudios Eléctricos EmelNorte, “Esquema-del-Alimentador-I1-San-Vicente-Cyme”, p. 1, 2023.
- [34] EMELNORTE S.A., “MEDIDORES Y REDES.”, p. 1, 2023.
- [35] E. SCADA, “Demandas Máximas de Cargabilidad (Calidad de Energía)”, p. 1, 2023.

## **Anexos**

### **Anexo 1.** Calibración del equipo identificador de fase SPI-III



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 1. Identificación de fases en la salida del alimentador II**





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 3 y 4.** Correspondientes al análisis realizado en la red primaria o de medio voltaje (MT), cambios de fase manuales.

**Anexo 3.**

- Detalles de la modificación
- ✓ Modificar 'Tramo '407828\_MTA'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.
    - Modificar 'Fusible '39760'.
    - Modificar 'Línea aérea por fase '407828\_MTA'.
  - ✓ Modificar 'Tramo '407829\_MTA'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.
    - Modificar 'Línea aérea por fase '407829\_MTA'.
  - ✓ Modificar 'Tramo '333614\_MTA'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.
    - Modificar 'Línea aérea por fase '333614\_MTA'.
  - ✓ Modificar 'Tramo '375770\_MTA'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.
    - Modificar 'Fusible 'T5379'.
    - Modificar 'Línea aérea por fase '375770\_MTA'.
  - ✓ Modificar 'Tramo '871'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.
  - ✓ Modificar 'Tramo '872'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.
  - ✓ Modificar 'Tramo '873'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.
    - Modificar 'Línea aérea por fase '873'.
  - ✓ Modificar 'Tramo '874'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.
    - Modificar 'Línea aérea por fase '874'.
  - ✓ Modificar 'Tramo '878'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.

**Anexo 4.**

- 5954 - Modificar 'tramo 548305\_MTA'.
- Detalles de la modificación
- ✓ Modificar 'Tramo '548305\_MTA'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.
    - Modificar 'Fusible '40154'.
    - Modificar 'Línea aérea por fase '548305\_MTA'.
  - ✓ Modificar 'Tramo '438255\_MTA'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.
    - Modificar 'Línea aérea por fase '438255\_MTA'.
  - ✓ Modificar 'Tramo '438256\_MTA'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.
    - Modificar 'Línea aérea por fase '438256\_MTA'.
  - ✓ Modificar 'Tramo '418197\_MTA'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.
    - Modificar 'Fusible 'T5409'.
    - Modificar 'Línea aérea por fase '418197\_MTA'.
  - ✓ Modificar 'Tramo '4033'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.
  - ✓ Modificar 'Tramo '4099'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.
  - ✓ Modificar 'Tramo '4100'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.
    - Modificar 'Línea aérea por fase '4100'.
  - ✓ Modificar 'Tramo '4101'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.
  - ✓ Modificar 'Tramo '4102'.
    - Cambiar 'Fase' de 'C' a 'A'.
    - Modificar 'Carga concentrada '4102'.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**Anexo 5 y 6.** Correspondientes al análisis realizado en la red secundaria o de bajo voltaje (BT), cambios sugeridos por el balance de cargas una vez ejecutado el módulo en software CYME.

**Anexo 5.**

- 1985 - Cambia la fase del 'tramo 5947' y de todos lo tramos aguas abajo.

Detalles de la modificación

▼ Modificar 'Tramo '5947'.

Cambiar 'Fase' de 'AB' a 'BC'.

Datos sobre el usuario

Creado por: JORDAN ( 4/6/2024)
- 1986 - Cambia la fase del 'tramo 5107' y de todos lo tramos aguas abajo.

Detalles de la modificación

▼ Modificar 'Tramo '5107'.

Cambiar 'Fase' de 'BC' a 'AC'.

Datos sobre el usuario

Creado por: JORDAN ( 4/6/2024)
- 1987 - Cambia la fase del 'tramo 3849' y de todos lo tramos aguas abajo.

Detalles de la modificación

▼ Modificar 'Tramo '3849'.

Cambiar 'Fase' de 'AC' a 'BC'.

Datos sobre el usuario

Creado por: JORDAN ( 4/6/2024)
- 1988 - Cambia la fase del 'tramo 2662' y de todos lo tramos aguas abajo.

Detalles de la modificación

▼ Modificar 'Tramo '2662'.

Cambiar 'Fase' de 'AB' a 'BC'.

Datos sobre el usuario

Creado por: JORDAN ( 4/6/2024)

**Anexo 6.**

- 1989 - Cambia la fase del 'tramo 5536' y de todos lo tramos aguas abajo.

Detalles de la modificación

▼ Modificar 'Tramo '5536'.

Cambiar 'Fase' de 'AB' a 'BC'.

Datos sobre el usuario

Creado por: JORDAN ( 4/6/2024)
- 1990 - Cambia la fase del 'tramo 5191' y de todos lo tramos aguas abajo.

Detalles de la modificación

▼ Modificar 'Tramo '5191'.

Cambiar 'Fase' de 'AB' a 'BC'.

Datos sobre el usuario

Creado por: JORDAN ( 4/6/2024)
- 1991 - Cambia la fase del 'tramo 3714' y de todos lo tramos aguas abajo.

Detalles de la modificación

▼ Modificar 'Tramo '3714'.

Cambiar 'Fase' de 'A' a 'B'.

▼ Modificar 'Tramo '3807'.

Cambiar 'Fase' de 'A' a 'B'.

> Modificar 'Carga concentrada '3807'.

Datos sobre el usuario

Creado por: JORDAN ( 4/6/2024)
- 1992 - Cambia la fase del 'tramo 4927' y de todos lo tramos aguas abajo.


Detalles de la modificación

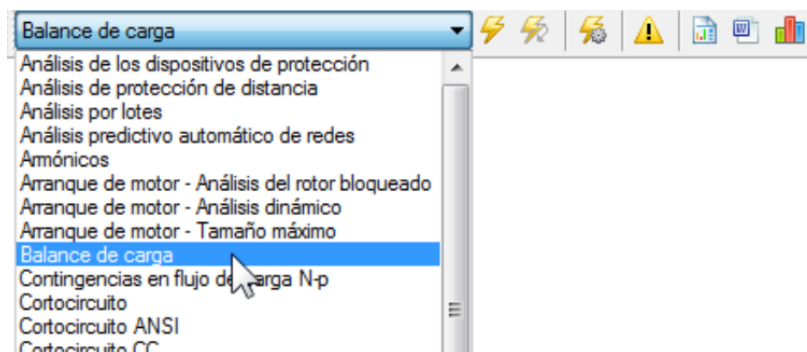


**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

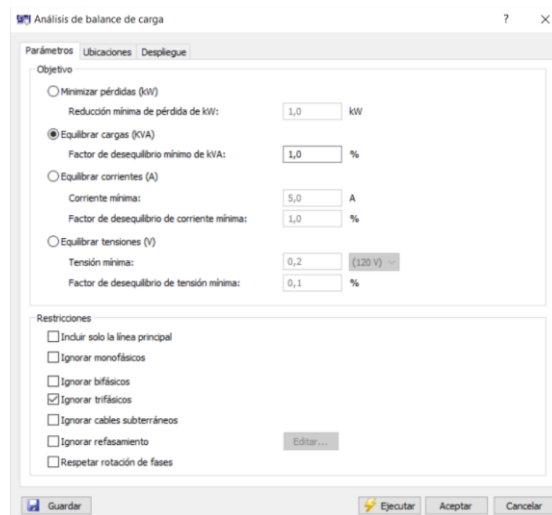


**Anexo 7.** Módulo guía para el balance de cargas en el software CYME

Una vez modelada la red secundaria o de bajo voltaje se realiza la configuración por consumo al momento de ejecutar una distribución de carga. Para el análisis diríjase a barra de herramientas del simulador y seleccione la opción de balance de carga y presione en el botón  ejecutar simulación.



Se desplegará una ventana con más opciones en la pestaña de parámetros usted podrá seleccionar la opción de equilibrar cargas y la de ignorar tramos trifásicos para que estos no sean analizados, debido a que los desbalances son ocasionados más comúnmente por tramos monofásicos y bifásicos.

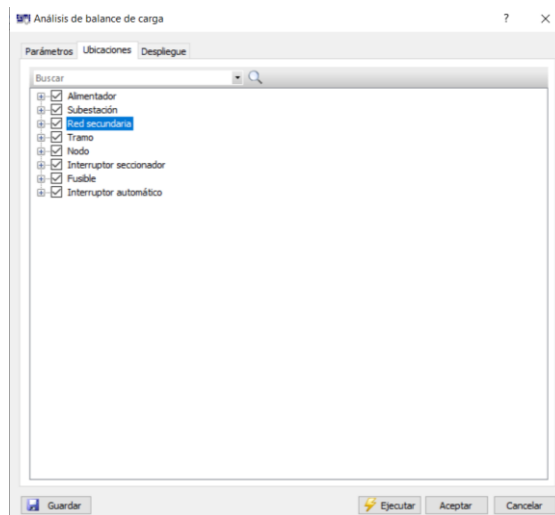




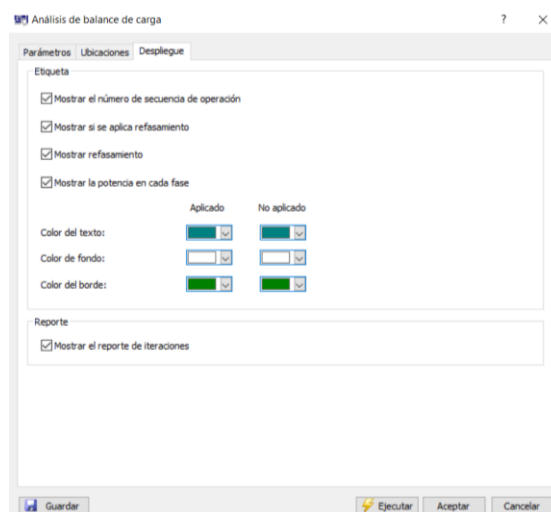
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



En la pestaña de ubicaciones encontramos todas las secciones que podemos analizar a lo largo del alimentador, como se creó la red secundaria en este caso saldría también como opción a ser analizada, se selecciona todas las ubicaciones posibles para que el balance sea más efectivo.



En la opción de despliegue seleccione la opción de mostrar interacciones para poder apreciar las modificaciones más a detalle.



La pestaña de resultados se activa automáticamente cuando el análisis es completado le muestra que cargas conectar a diferentes fases para que respeten los objetivos seleccionados.





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



También le indica una serie de cambios individuales y la reducción de kW inducida por cada cambio.

Ubicaciones para equilibrar: (2)

GA02

- ▼ 1:Tramo 10010
  - Paso 1: Tramo - 9683
  - Paso 2: Tramo - 11423
  - Paso 3: Tramo - 10700
  - Paso 4: Tramo - 10056
  - Paso 5: Tramo - 10091
- ▼ 2:Tramo 10003
  - Paso 1: Tramo - 12131
  - Paso 2: Tramo - 11362
  - Paso 3: Tramo - 12140
  - Paso 4: Tramo - 10909
  - Paso 5: Tramo - 12402

Cambio de fase recomendado

Tramo - 12131

De	A	Carga transferida	
A	C	64.8 kW	165.2 kVA
B	A	0.0 kW	0.0 kVA
C	B	0.0 kW	0.0 kVA

Resultados

	Fase A (kVA)	Fase B (kVA)	Fase C (kVA)	Ineutral (A)	Pérdidas totales (kW)	Promedio kVA deseq.	Cosφ Factor de dese.	Tensión Factor de dese.
Antes	770.09	785.32	1453.23	212.46	154.14	44.91 %	38.18 %	1.78 %
Después	668.71	780.32	1283.56	161.58	131.41	40.92 %	35.30 %	1.56 %

Cuando los cambios todos los cambios sean aplicados se dirige a la barra de herramientas, selecciona la opción flujo de carga, posteriormente ejecutar simulación para observar el nuevo comportamiento del sistema y a través de un reporte sumario poder apreciar las mejoras del sistema.

Consejo: el análisis en la red secundaria puede tardar varias horas e incluso días, todo dependerá de la extensión que tenga el alimentador que se está trabajando, al ejecutar el programa podemos ver como se están analizando los tramos, si usted desea puede presionar la opción parar, el simulador se detendrá y todos los cambios sugeridos serán conservados, pero a la espera de ser ejecutados, si desea continuar, puede presionar nuevamente ejecutar simulación y el balance de cargas seguirá analizando los tramos restantes hasta que termine o hasta usted decida detenerlo nuevamente.