



Universidad  
Nacional  
de Loja

**Universidad Nacional de Loja**

**Facultad de Energía, las Industrias y Recursos Naturales No  
Renovables**

**Carrera de Electromecánica**

**Algoritmo de optimización en redes de distribución aérea de baja  
tensión, caso de análisis EMPRESA ELÉCTRICA CENTRO SUR  
C.A.**

Trabajo de Integración Curricular  
previo, a la obtención del título de  
Ingeniero Electromecánico.

**AUTOR:**

David Andres Sanchez Cueva

**DIRECTOR:**

Ing. Iván Alberto Coronel Villavicencio. M.Sc.

Loja – Ecuador

2023

Educamos para **Transformar**

## Certificado

Loja, 24 de febrero de 2023

Ing. Iván Alberto Coronel Villavicencio. M.Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Algoritmo de optimización en redes de distribución aérea de baja tensión, caso de análisis EMPRESA ELÉCTRICA CENTRO SUR C.A.** de autoría del estudiante **David Andres Sanchez Cueva**, con cédula de identidad **Nro.1105711277** previo a la obtención del título de **INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**. Una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, apruebo y autorizo la presentación para los trámites de titulación.



Ing. Iván Alberto Coronel Villavicencio. M.Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## **Autoría**

Yo, **David Andres Sanchez Cueva**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



Firmado electrónicamente por:  
**DAVID ANDRES  
SANCHEZ CUEVA**

**Cédula de identidad:** 1105711277

**Fecha:** 14 de noviembre de 2023

**Correo electrónico:** [david.sanchez@unl.edu.ec](mailto:david.sanchez@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0958891675

**Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo del Trabajo de Integración Curricular.**

Yo, **David Andres Sanchez Cueva**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Algoritmo de optimización en redes de distribución aérea de baja tensión, caso de análisis EMPRESA ELÉCTRICA CENTRO SUR C.A.**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Electromecánico**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los catorce días del mes de noviembre de dos mil veintitrés.



Firmado electrónicamente por:  
**DAVID ANDRES  
SANCHEZ CUEVA**

**Firma:**

**Autor:** David Andres Sanchez Cueva

**Cédula:** 1105711277

**Dirección:** Ciudadela Luis Alfonso Crespo

**Correo electrónico:** [david.sanchez@unl.edu.ec](mailto:david.sanchez@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0958891675

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Integración Curricular:** Iván Alberto Coronel Villavicencio

## **Dedicatoria**

Dedico este Trabajo de Integración Curricular primeramente a Dios y a la Virgen del Cisne, que permitieron la conclusión de mi investigación, brindándome sabiduría en el proceso del mismo.

A mi abuela Elvira Coronel, que siempre mantuvo su confianza en mí, a pesar de las diferentes adversidades, me apoyó con sus consejos, cariños y me dio fortaleza para continuar, brindándome su apoyo y su inmenso amor de madre, siempre teniendo presente lo que mencionó: “Hijo de mi vida yo sé tú vas a llegar muy lejos, tú eres capaz, tú vas hacer grande”.

A mis padres, que fueron un pilar principal en mi formación profesional y me apoyaron incondicionalmente, dándome consejos de la vida y dándome fuerzas para ser una mejor persona y contribuir con la sociedad.

*Sanchez Cueva David Andres*

## **Agradecimiento**

Primeramente, agradezco a mis padres, por todo el apoyo incondicional, por sus consejos y la motivación de cada día ser mejor, teniendo en cuenta que lo más importante en la vida es cumplir nuestros sueños y luchar por ello, por ser los mejores padres que estuvieron siempre para mí, con su amor y confianza.

A mis abuelos, que son mi motivación, siempre estuvieron presentes con su amor infinito y sus consejos, para alcanzar mis objetivos, muchas gracias abuelos de mi vida, amarlos con el alma. A mi hermano, mi mejor amigo que siempre estuvo presente con sus consejos en mi formación, dándome fuerzas, ánimos y consejos para culminar mis estudios universitarios.

Mi agradecimiento a mis familiares y amigos que de una manera u otra manera me apoyaron en el proceso de este trabajo.

A mi director Iván Coronel, por estar presente en la elaboración de este trabajo, siendo constante y mostrar profesionalismo en sus funciones.

A la Universidad Nacional de Loja por la educación superior impartida y el apoyo brindado durante mis años de formación.

A mis docentes por compartir sus conocimientos y experiencias, con el objeto de formar profesionales, para servir a la sociedad.

*David Andres Sanchez Cueva*

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificado</b> .....	<b>iii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iv</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>v</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>vi</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>viii</b>
Índice de tablas .....	<b>xii</b>
Índice de figuras.....	<b>xiii</b>
Índice de anexos.....	<b>xiv</b>
<b>1 TÍTULO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 RESUMEN</b> .....	<b>2</b>
ABSTRACT .....	<b>3</b>
<b>3 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>4 MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
4.1 CAPÍTULO I: CONCEPTOS BÁSICOS DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN .....	<b>6</b>
4.1.1 <i>Sistema de distribución</i> .....	<b>6</b>
4.1.2 <i>Objetivo de la distribución de energía eléctrica</i> .....	<b>6</b>
4.1.3 <i>Clasificación de los sistemas de distribución de baja tensión</i> .....	<b>6</b>
4.1.3.1 <i>Sistemas de distribución aérea</i> .....	<b>6</b>
4.1.3.2 <i>Sistemas de distribución subterráneos</i> .....	<b>7</b>
4.1.4 <i>Clasificación de las redes de distribución de acuerdo al tipo de cargas</i> .....	<b>8</b>
4.1.4.1 <i>Redes de distribución para cargas residenciales</i> .....	<b>8</b>
4.1.4.2 <i>Redes de distribución para cargas comerciales</i> .....	<b>9</b>
4.1.4.3 <i>Redes de distribución para cargas industriales</i> .....	<b>9</b>
4.1.4.4 <i>Redes de distribución para cargas de alumbrado público</i> .....	<b>9</b>
4.1.4.5 <i>Redes de distribución para cargas mixtas</i> .....	<b>9</b>
4.1.5 <i>Transformadores de distribución</i> .....	<b>9</b>
4.1.5.1 <i>Localización</i> .....	<b>10</b>
4.1.5.2 <i>Capacidades nominales</i> .....	<b>11</b>
4.1.6 <i>Postes</i> .....	<b>11</b>
4.1.7 <i>Acometida en baja tensión</i> .....	<b>12</b>
4.1.7.1 <i>Acometida aérea</i> .....	<b>12</b>
4.1.7.2 <i>Acometida subterránea</i> .....	<b>12</b>

4.1.7.3 Acometida mixta .....	12
4.1.8 <i>Conductor</i> .....	12
4.1.8.1 Criterios acerca de la sección de los conductores .....	13
4.1.8.2 Tipos y calibres normalizados .....	13
4.1.8.3 Selección de conductor respecto al transformador .....	14
4.1.9 <i>Alumbrado público</i> .....	15
4.2 CAPÍTULO II: CAÍDA DE VOLTAJE EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN .....	15
4.2.1 <i>Niveles de voltaje</i> .....	15
4.2.2 <i>Caída de voltaje en sistemas de distribución</i> .....	16
4.2.2.1 Variaciones de voltaje en un sistema de distribución .....	17
4.2.2.2 Zonas de voltaje en un sistema de distribución .....	17
4.2.2.2.1 Zona favorable.     17	
4.2.2.2.2 Zona tolerable.     17	
4.2.2.2.3 Zona extrema.     17	
4.2.3 <i>Cálculo de caída de voltaje</i> .....	18
4.2.4 <i>Regulación de voltaje</i> .....	18
4.2.4.1 Regulación de voltaje en circuitos de distribución .....	19
4.3 CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN .....	20
4.3.1 <i>Configuración de los sistemas</i> .....	20
4.3.1.1 Sistemas primarios .....	20
4.3.1.2 Sistemas secundarios.....	21
4.3.2 <i>Topologías de redes de distribución</i> .....	22
4.3.2.1 Redes radiales.....	22
4.3.2.2 Redes en anillo .....	23
4.3.2.3 Red en malla.....	23
4.3.3 <i>Normativa de redes secundarias CENTROSUR</i> .....	24
4.3.3.1 Tipos de redes .....	24
4.3.3.1.1 Número de fases.....	24
4.3.3.1.2 Tensiones de suministro y límites para servicio monofásico y trifásico .....	24
4.3.3.1.3 Longitud de redes.....	25
4.3.3.2 Niveles de calidad .....	25
4.3.3.2.1 Factor de potencia.....	25
4.3.3.2.2 Caída de voltaje admisible para red secundaria.....	25



4.3.3.2.3 Pérdidas de potencia .....	26
4.3.4 <i>Normativa para el dimensionamiento de redes secundarias de la empresa CENTROSUR</i> .....	26
4.3.4.1 Demanda de diseño .....	26
4.3.4.2 Dimensionamiento del transformador .....	28
4.4 CAPÍTULO IV: ALGORITMO .....	29
4.4.1 <i>El algoritmo</i> .....	29
4.4.2 <i>Diagramas de flujo</i> .....	29
4.4.3 <i>Modelo de resolución de problemas</i> .....	29
4.4.4 <i>Características de los algoritmos</i> .....	29
4.4.5 <i>Lenguaje de programación</i> .....	30
<b>5 Metodología .....</b>	<b>31</b>
5.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	31
5.2 MATERIALES .....	31
5.3 PROCEDIMIENTO .....	31
5.3.1 <i>Recopilación de información</i> .....	33
5.3.2 <i>Análisis de las topologías de red de distribución</i> .....	33
5.3.2.1 Levantamiento de redes secundarias en la región Sierra .....	33
5.3.2.1.1 Sector urbano .....	33
5.3.2.1.2 Sector rural. . . . .	35
5.3.2.2 Levantamiento de redes secundarias en la región Oriente .....	36
5.3.2.2.1 Sector urbano .....	36
5.3.2.2.2 Sector rural. . . . .	37
5.3.3 <i>Elaboración de algoritmo</i> .....	38
5.3.3.1 Análisis de dimensionamiento del transformador existente.....	38
5.3.3.2 Análisis de caída de tensión en la red existente .....	38
5.3.3.3 Análisis de reconfiguración y caída de tensión en una nueva red .....	38
5.3.3.4 Análisis estructural para extensión de media tensión .....	39
5.3.3.5 Dimensionamiento de nuevo transformador .....	40
<b>6 Resultados.....</b>	<b>41</b>
6.1 NORMATIVA DEL ESTADO ESTRUCTURAL Y TÉCNICO DE REDES SECUNDARIAS, EN EL ÁREA DE CONCESIÓN DE LA EMPRESA CENTROSUR .....	41
6.1.1 <i>Estado estructural</i> .....	41
6.1.1.1 Número de fase .....	41
6.1.1.2 Longitud de red .....	41
6.1.1.3 Transformador.....	41
6.1.1.4 Poste.....	41
6.1.1.5 Conductor. . . . .	41
6.1.2 <i>Estado técnico</i> .....	42
6.1.2.1 Niveles de tensión .....	42
6.1.2.2 Caída de tensión .....	42
6.2 TOPOLOGÍAS DE LAS REDES.....	42

6.2.1	<i>Red urbana</i> .....	42
6.2.2	<i>Red rural</i> .....	43
6.3	EVALUACIÓN DEL ALGORITMO.....	43
6.3.1	<i>Dimensionamiento del transformador existente</i> .....	43
6.3.2	<i>Caída de tensión en la red existente</i> .....	44
6.3.3	<i>Reconfiguración y caída de tensión en nuevas redes</i> .....	44
6.3.4	<i>Extensión de media tensión</i> .....	46
6.3.5	<i>Dimensionamiento de nuevo transformador</i> .....	46
<b>7</b>	<b>Discusión</b> .....	<b>48</b>
<b>8</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>50</b>
<b>9</b>	<b>Recomendaciones</b> .....	<b>52</b>
<b>10</b>	<b>Bibliografía</b> .....	<b>53</b>
<b>11</b>	<b>Anexos</b> .....	<b>55</b>

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Capacidades nominales de los transformadores, monofásico y trifásico.....	11
<b>Tabla 2.</b> Valores normalizados de altura y carga de los postes, según la homologación de las unidades de propiedad en sistemas de distribución .....	12
<b>Tabla 3.</b> Mínimo calibre del conductor ACSR sector urbano.....	14
<b>Tabla 4.</b> Mínimo calibre del conductor ACSR sector rural .....	15
<b>Tabla 5.</b> Mínimo calibre del conductor preensamblados sector urbano. ....	15
<b>Tabla 6.</b> Mínimo calibre del conductor preensamblados sector rural .....	15
<b>Tabla 7.</b> Zonas de voltaje en un sistema de distribución de baja tensión .....	18
<b>Tabla 8.</b> Voltaje de utilización.....	19
<b>Tabla 9.</b> Bandas permisibles de tensión en circuitos de distribución .....	19
<b>Tabla 10.</b> Los límites para el servicio monofásico y trifásico. ....	25
<b>Tabla 11.</b> Factor B, con respecto a los estratos existentes, en el área de concesión de la empresa CENTROSUR .....	26
<b>Tabla 12.</b> Factor A en base al consumo de energía .....	27
<b>Tabla 13.</b> Factor de sobrecarga del transformador .....	28
<b>Tabla 14.</b> Materiales utilizados.....	31
<b>Tabla 15.</b> Análisis de dimensionamiento del transformador existente .....	43
<b>Tabla 16.</b> Resultados del análisis de caída de tensión en la red existente .....	44
<b>Tabla 17.</b> Reconfiguración y ubicación del transformador en la red 1 .....	44
<b>Tabla 18.</b> Resultados de la reconfiguración y ubicación del transformador en la red 2 .....	45
<b>Tabla 19.</b> Resultados de la reconfiguración y ubicación del transformador en la red 3 .....	45
<b>Tabla 20.</b> Resultados de caída de tensión en las redes reconfiguradas .....	46
<b>Tabla 21.</b> Resultados de extensión de media tensión.....	46
<b>Tabla 22.</b> Resultado del dimensionamiento del transformador nuevo.....	46

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Sistemas de distribución aérea .....	7
<b>Figura 2.</b> Sistema de distribución subterráneas .....	8
<b>Figura 3.</b> Transformadores de distribución. ....	10
<b>Figura 4.</b> Perfiles de tensiones en un sistema de distribución .....	16
<b>Figura 5.</b> Red primaria de tres hilos. ....	21
<b>Figura 6.</b> Red primaria de cuatro hilos. ....	21
<b>Figura 7.</b> Suministro en baja tensión a través de la red de distribución y los centros de transformación. ....	22
<b>Figura 8.</b> Red radial .....	23
<b>Figura 9.</b> Red en anillo .....	23
<b>Figura 10.</b> Red en malla .....	24
<b>Figura 11.</b> Ubicación del área de estudio, red existente a evaluar.....	31
<b>Figura 12.</b> Flujograma de la metodología aplicada en el trabajo de titulación .....	32
<b>Figura 13.</b> Mapa energético de la subestación SE-02 CENTROSUR .....	33
<b>Figura 14.</b> Ubicación del centro de transformación en el Geovisor Público. ....	34
<b>Figura 15.</b> Ubicación referencial de la red secundaria en el sector urbano. ....	34
<b>Figura 16.</b> Red secundaria aérea en el sector urbano, dentro del área de suministro de la subestación SE-02 CENTROSUR-Cuenca. ....	35
<b>Figura 17.</b> Red secundaria aérea en el sector rural, dentro del área de suministro de la subestación SE-15 CENTROSUR-Cuenca. ....	36
<b>Figura 18.</b> Red secundaria aérea en el sector urbano, dentro del área de suministro DIMS CENTROSUR- Macas .....	37
<b>Figura 19.</b> Red secundaria aérea en el sector rural, dentro del área de suministro DIMS CENTROSUR .....	37
<b>Figura 20.</b> Proceso de análisis de dimensionamiento del transformador.....	38
<b>Figura 21.</b> Proceso de análisis de caída de tensión en la red .....	38
<b>Figura 22:</b> Proceso de reconfiguración y caída de tensión en nuevas redes.....	39
<b>Figura 23.</b> Proceso de análisis para extensión de media tensión. ....	40
<b>Figura 24.</b> Proceso de análisis de dimensionamiento de nuevo transformador .....	40
<b>Figura 25.</b> Análisis en red de baja tensión en el sector urbano.....	42
<b>Figura 26.</b> Análisis en red de baja tensión en el sector rural .....	43

## Índice de anexos:

<b>Anexo 1.</b> Valores FDV en red monofásica-trifásica .....	55
<b>Anexo 2.</b> Flujograma del algoritmo .....	56
<b>Anexo 3.</b> Datos de red para dimensionamiento de transformador .....	59
<b>Anexo 4.</b> Datos pertinentes para caída de tensión en la red existente .....	60
<b>Anexo 5.</b> Datos de reconfiguración de red .....	60
<b>Anexo 6.</b> Datos de caída de tensión .....	61
<b>Anexo 7.</b> Datos de dimensionamiento nuevo de transformador.....	61
<b>Anexo 8.</b> Análisis económico de la reposición de todos lo elementos de la red .....	62
<b>Anexo 9.</b> Análisis económico de la instalación de dos transformadores y separación de circuitos. ....	63
<b>Anexo 10.</b> Certificado de traducción del resumen de trabajo de titulación.....	64

## **1 Título**

**Algoritmo de optimización en redes de distribución aérea de baja tensión, caso de análisis EMPRESA ELÉCTRICA CENTRO SUR C.A.**

## 2 Resumen

La presente investigación tiene como propósito evaluar y optimizar redes secundarias existentes dentro del área de concesión de la empresa eléctrica CENTROSUR, con la finalidad de disminuir costos al reutilizar los elementos de la red y obtener valores de caída de tensión por debajo de los límites permisibles, para lo cual se realiza una recopilación de información concerniente a redes de distribución aéreas de baja tensión, seguidamente se considera los archivos internos de la empresa eléctrica CENTROSUR para realizar un análisis a la topología y configuración de las redes existentes, con la finalidad de destacar sus características principales y plantear un procedimiento para el cálculo de la caída de tensión, se evidencia una diferencia entre las redes ubicadas en el sector urbano con respecto al sector rural, por lo tanto, considerar una red estándar que las represente no es posible, lo más factible para dicho proceso es realizar el análisis por ramales desde el centro de transformación hasta el final del mismo. Para optimizar redes existentes se desarrolla un algoritmo en el software MATLAB y para verificar su funcionamiento se considera una red existente ubicada en la provincia del Azuay en la ciudad de Gualaceo, obteniendo resultados basados en los procesos, condiciones y sugerencias ingresadas en el programa, estas soluciones permiten al usuario no solo regirse por lo que dispone el mismo, además brinda información importante para la toma de decisiones y obtener beneficios económicos como técnicos, en este caso se puede reutilizar el transformador existente y la ubicación del mismo, evitando el cambio de un poste y extensión de media tensión.

***Palabras clave:** Optimización de redes secundarias, centro de masa, reconfiguración de redes de baja tensión, CENTROSUR, caída de tensión*

## **Abstract.**

The purpose of this research is to evaluate and optimize existing secondary networks within the concession area of the electrical company CENTROSUR. The aim is to reduce costs by reusing network elements and achieving voltage drop values below permissible limits. To do this, information related to low-voltage overhead distribution networks is collected. Then, internal files of the electrical company CENTROSUR are considered to analyze the topology and configuration of existing networks, highlighting their main characteristics and proposing a procedure for calculating voltage drop. There is a difference between networks in urban and rural areas, making it impossible to consider a standard network to represent both. Therefore, the most feasible approach for this process is to analyze branches from the transformer center to the end. To optimize existing networks, an algorithm is developed in the MATLAB software, and to verify its operation, an existing network in the Azuay province in the city of Gualaceo is considered. The results are based on processes, conditions, and suggestions entered into the program. These solutions not only allow the user to comply with what is available but also provide important information for decision-making and economic as well as technical benefits. In this case, it is possible to reuse the existing transformer and its location, avoiding the need to change a pole and extend medium voltage lines.

***Keywords:** Secondary network optimization, center of mass, low-voltage network reconfiguration, CENTROSUR, voltage drop.*



### 3 Introducción

La energía eléctrica es un servicio indispensable para la sociedad y se distribuye a los usuarios por medio de empresas eléctricas distribuidoras, como lo es la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A que abastece de servicio eléctrico a las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago, con un área de concesión alrededor de  $30\,273\text{km}^2$ , esta empresa mantiene la obligación de distribuir energía de calidad, enfatizando en la caída de tensión, por medio de las redes de distribución de baja tensión aéreas se alimentan a los predios urbanos y rurales, por lo tanto, ejecutando una optimización de redes existentes se logra dos beneficios, cumplir con los valores permisibles de caída de voltaje y un ahorro económico, por reutilizar los elementos de la red.

Por ello, en el presente trabajo se analiza la información más relevante acerca de redes de distribución de baja tensión, enfatizando en los elementos y características técnicas-estructurales de una red, tomando en cuenta la normativa del ex Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) y el trabajo de titulación “NORMAS TÉCNICAS PARA EL DISEÑO Y EXPANSIÓN DE LAS REDES SECUNDARIAS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A.”, para elaborar las restricciones y fórmulas que se utilizara en el algoritmo.

La geografía del área de concesión de la empresa es irregular, tanto en la sierra como el oriente, al igual que la forma de sus redes de distribución, es por ello, que se seleccionó como base una red urbana y rural de cada región, para analizar sus características y poder formular un procedimiento para calcular la caída de tensión en las redes existentes.

En el presente trabajo se propone realizar un algoritmo que evalúe el estado técnico y estructural de una red de baja tensión, al no cumplir con lo que dictas las normas genera soluciones de implementación de elementos, extensión de media tensión y reconfiguración de la red, permitiendo a los trabajadores y proyectistas que laboran dentro del área de concesión de la CENTROSUR contar con un algoritmo para optimización de redes aéreas de baja tensión existentes.

En base a lo expuesto, se ha planteado los siguientes objetivos:

#### **Objetivo general**

Elaborar un algoritmo de optimización en redes de distribución aéreas de baja tensión en el área de concesión de la empresa CENTROSUR.

### **Objetivos específicos**

- Revisar los sistemas de distribución de baja tensión, los elementos y porcentaje de caídas de tensión.
- Analizar las diferentes topologías de las redes de distribución de baja tensión.
- Desarrollar el algoritmo de optimización propuesto.

## 4 Marco Teórico

### 4.1 Capítulo I: Conceptos básicos de sistemas de distribución

#### 4.1.1 Sistema de distribución

Un sistema de distribución de energía eléctrica está conformado por un conjunto de elementos encargados de transmitir la energía eléctrica desde una subestación de potencia hasta el consumidor. Normalmente, el sistema de distribución se encuentra conformado por líneas primarias de distribución, los transformadores de distribución, las líneas secundarias de distribución, acometidas y medidores (Yebra, 2009).

#### 4.1.2 Objetivo de la distribución de energía eléctrica

El servicio de energía eléctrica debe ser entregado al usuario de manera continuo, sin interrupciones, con un valor adecuado de tensión garantizando el correcto funcionamiento e integridad de los aparatos, y que la forma de onda senoidal sea pura. La distribución debe realizarse a través de redes diseñadas correctamente con capacidad de soportar un crecimiento propio de la carga, además las componentes sean una buena calidad, idóneos a resistir el efecto del campo eléctrico y efectos por el sitio donde se encuentran disminuyendo la vida útil del mismo.

Las redes eléctricas se deben proyectar, construir y deben poseer la capacidad de ampliarse progresivamente con modificaciones mínimas en las redes existentes, se deben enfocar en brindar un servicio de calidad y suministro continuo para la carga presente como futura, al mínimo costo de operación (Yebra, 2009).

#### 4.1.3 Clasificación de los sistemas de distribución de baja tensión

##### 4.1.3.1 Sistemas de distribución aérea.

En esta configuración usualmente se aplica conductor desnudo, el mismo se encuentra sujeto a través de aisladores instalados en crucetas, en postes de concreto ó fibra de vidrio (Castaño, 2012).

Según Castaño (2012), en cuanto al sistema aéreo al compararse con el sistema subterráneo tiene las siguientes ventajas:

- Costo inicial más bajo.
- Son comunes y materiales de fácil consecución.
- Fácil mantenimiento.
- Fácil localización de fallas.
- Tiempos de construcción más bajos.

Y tiene las siguientes desventajas:

- Mal aspecto estético.
- Menor confiabilidad.
- Menor seguridad (ofrece más peligro para los transeúntes).
- Son susceptibles de fallas y cortes de energía ya que están expuestas a: descargas atmosféricas, lluvia, granizo, polvo, temblores, gases contaminantes, brisa salina, vientos, contactos con cuerpos extraños, choques de vehículos y vandalismo

En la **Figura 1**, se representa la red de distribución aérea de baja tensión, demostrando las ventajas y desventajas antes mencionadas.



**Figura 1.** Sistemas de distribución aérea.  
n. Fuente: (LyRec, s.f.)

#### **4.1.3.2 Sistemas de distribución subterráneos.**

Por lo general, (Armijos & Suquilanda, 2011) plantea que estos sistemas se construyen en zonas urbanas con una considerable densidad de carga y fuertes tendencias de crecimiento, además se consideran mayormente por la confiabilidad que presenta en la transmisión de energía eléctrica y en cuanto la parte estética genera un aspecto agradable del sitio.

Los sistemas subterráneos están conformados por transformadores de tipo interior o sumergibles, debido a la humedad o circulación de líquidos a través de los mismos, cajas de conexión, interruptores de seccionamiento, interruptores de seccionamiento y protección, cables aislados, etc. Los que se instalan en ciertos lugares definidos, además se consideran ciertas normas que regula a estos sistemas (Armijos & Suquilanda, 2011).

Todo sistema mantiene beneficios y desventajas, por lo tanto, Castaño (2012) menciona:

Tiene las siguientes ventajas:

- Mucho más confiable ya que la mayoría de las contingencias mencionadas en las redes aéreas no afectan a las redes subterráneas.
- Son más estéticas, pues no están a la vista.

- Son mucho más seguras.
- No están expuestas a vandalismo.

Tienen las siguientes desventajas:

- Su alto costo de inversión inicial.
- Se dificulta la localización de fallas.
- El mantenimiento es más complicado y reparaciones más demoradas.
- Están expuestas a la humedad y a la acción de los roedores.

En la **Figura 2**, se representa la red de distribución aérea de baja tensión, demostrando las ventajas y desventajas antes mencionadas.



**Figura 2.** Sistema de distribución subterráneas.  
n. Fuente. (Pinterest, s.f.)

#### **4.1.4 Clasificación de las redes de distribución de acuerdo al tipo de cargas**

La finalidad a la cual el usuario destina la energía eléctrica también sirve de criterio para clasificar las cargas.

##### **4.1.4.1 Redes de distribución para cargas residenciales**

Son consideradas cargas netamente resistivas, debido a los equipos que se encuentran no mantienen características reactivas considerables. En cuanto a consumidores residenciales en los centros urbanos los sectores se encuentran bien definidos, de acuerdo al nivel de vida y a los hábitos en cuanto a consumo energético residencial, haciendo referencia a edificios de apartamentos, multifamiliares, condominios, urbanizaciones, etc (Castaño, 2012).

De acuerdo a las clases socioeconómicas, los abonados residenciales se clasifican así según Castaño (2012):

- Zona clase alta: constituida por usuarios que tienen un alto consumo de energía eléctrica.

- Zona clase media: conformado por usuarios que tienen un consumo moderado de energía eléctrica.
- Zona clase baja: conformado por usuarios de barrios populares que tienen un consumo bajo de energía eléctrica.
- Zona tugurial: dentro de la cual están los usuarios de los asentamientos espontáneos sin ninguna planeación urbana y que presentan un consumo muy bajo de energía.

#### **4.1.4.2 Redes de distribución para cargas comerciales**

Caracterizadas por ser resistivas y se localizan en áreas céntricas de las ciudades donde se realizan actividades comerciales, centros comerciales y edificios de oficinas. Tienen algún componente inductivo que bajan un poco el factor de potencia. Hoy en día predominan cargas muy sensibles que introducen armónicos (Castaño, 2012).

#### **4.1.4.3 Redes de distribución para cargas industriales**

Este tipo de cargas presentan un importante componente de energía reactiva debido a la gran cantidad de motores instalados, en este tipo de instalaciones con frecuencia se hace necesario corregir el factor de potencia. Además de las redes independientes para fuerza motriz es indispensable distinguir otras para calefacción y alumbrado. A estas cargas se les controla el consumo de reactivos y se les realiza gestión de carga pues tienen doble tarifa (alta y baja) para evitar que su pico máximo coincida con el de la carga residencial (Castaño, 2012).

#### **4.1.4.4 Redes de distribución para cargas de alumbrado público**

Castaño (2012) menciona que para contribuir a la seguridad ciudadana en las horas nocturnas se instalan redes que alimentan lámparas de mercurio y sodio de característica resistiva, así como lámparas led que se encuentran innovando el mercado en los últimos años.

#### **4.1.4.5 Redes de distribución para cargas mixtas**

“En este tipo de redes se tienen varias de estas cargas en una misma red de distribución. No muy deseables pues se dificulta el control de pérdidas”(Castaño, 2012).

### **4.1.5 Transformadores de distribución**

El transformador es una máquina eléctrica encargadas de realizar el cambio del nivel de tensión de un circuito primario a un valor menor, con la finalidad de poder aplicar a los equipos, sin la necesidad de la aplicación de sistemas costosos y peligrosos en contra de la integridad de los usuarios, cabe destacar que el transformador de distribución es la liga entre la red primaria y secundaria (Yebra, 2009).

Según Yebra (2009), “la capacidad del transformador se selecciona en función de la magnitud de la carga, debiendo tener especial cuidado en considerar los factores que influyen en ella; tales como, el factor de demanda y el factor de coincidencia.”

Las fases que mantiene el transformador son dependientes del número de fases que posee el alimentador primario. En ciertas ocasiones las políticas de las empresas distribuidoras emplean en cuanto a selección de fases de los transformadores de distribución, es basado a la carga aplicar, es decir, motores monofásicos o trifásicos (Yebra, 2009).

En la **Figura 3**, se observa los dos tipos de transformadores que se ubican en redes de distribución de baja tensión, se enfatiza en los transformadores monofásica y trifásica, en algunos casos se puede generar un banco trifásico con transformadores monofásicos.



**Figura 3.** Transformadores de distribución.  
*Fuente.* (RTE-México, 2020)

#### 4.1.5.1 Localización

Los centros de transformación se deben situar lo más cerca posible de la carga, debido a que la caída de tensión no debe superar los límites normalizados por la compañía de distribución (Domínguez & Molina, 2011).

Según Domínguez & Molina (2011), para la disposición óptima del transformador, se debe considerar algunos criterios:

- Cerca de las cargas más influyentes.
- Facilidad constructiva.
- Protección de personas, equipos y materiales.
- Acceso de vías.
- No obstaculice la circulación.
- Ubicación de las líneas de media tensión.

En caso de tratarse de una red existente, se realiza una reconfiguración siendo ideal el centro de masa para las nuevas redes. Para obtener el punto mencionado se aplica la **Ecuación 1** y **Ecuación 2**.

$$\frac{\sum_{i=1}^N (x_i)}{N}$$

**Ecuación 1**

$$\frac{\sum_{i=1}^N (y_i)}{N}$$

**Ecuación 2**

#### 4.1.5.2 Capacidades nominales

Se debe tener en cuenta que la capacidad máxima de un transformador, para el montaje en poste es 150 kVA. De acuerdo con el tipo de transformador, existen algunas capacidades, como se representa en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Capacidades nominales de los transformadores, monofásico y trifásico.

<b>Transformador</b>	<b>Tensión Primaria Kv</b>	<b>Tensión Secundaria</b>	<b>Capacidad kVA</b>
Monofásico	22 6.3	120/240 V	3
			5
			10
			15
			25
			37.5
			50
Trifásico	22 12.7 6.3	127/220 V	30
			50
			75
			100
			125
			150
			160
			200
250			

*Fuente:* (Domínguez & Molina, 2011)

#### 4.1.6 Postes

En las redes de distribución aérea de baja tensión se destaca que la energía transportada se realiza en apoyos a una cierta distancia denominados postes. Según Castaño (2012), dependiendo de la configuración y construcción de los circuitos se considera el peso, la longitud y resistencia de rotura estos pueden ser de hormigón armado, metálico o fibra de vidrio. Son utilizados para sistemas urbanos y rurales sus longitudes varían según el tipo de servicio que van a prestar 16, 14, 12 metros en redes de media tensión y 10 metros en redes de baja tensión y alumbrado público con resistencia de rotura de 2000, 1050, 750, 500, 510, 400, y 350 kg respectivamente.



**Tabla 2.** Valores normalizados de altura y carga de los postes, según la homologación de las unidades de propiedad en sistemas de distribución.

<b>Postes</b>	
<b>Altura (m)</b>	<b>Carga de Rotura (kg)</b>
10	400
12	
13	
14	500
15	

*Fuente:* (Salao et al., s.f.)

#### **4.1.7 Acometida en baja tensión**

García (2003) menciona que se reconoce como acometida a la instalación que forma un enlace entre el usuario y la línea de distribución de empresa suministradora de energía eléctrica. La acometida en baja tensión de acuerdo con las normas de la empresa distribuidora, pueden ser aérea, subterránea o mixta.

##### **4.1.7.1 Acometida aérea**

Hace referencia a los conductores existentes sobre postes o facha de los edificios, se los puede reconocer como el inicio de la instalación desde la red de distribución aérea hasta la carga. La caída de tensión máxima permisible es del 1% y la intensidad estará dentro de los valores particulares del conductor (García, 2003).

##### **4.1.7.2 Acometida subterránea**

Estas acometidas tienen su origen en redes de distribución subterránea, su formación se puede dar por conductores aislados directamente enterrados en zanjas, atravesando una tubería o en galerías subterráneas. La dirección de estas acometidas se basa en la dirección que mantienen las aceras (García, 2003).

##### **4.1.7.3 Acometida mixta**

Las acometidas mixtas son conformadas por una parte aérea y subterránea. Cada una ellas se rigen a una norma correspondiente. Cuando existe el cambio de subterránea a aérea o viceversa, se aplica una tubería rígida, por la cual atraviesan los conductores, la misma se tapa en la parte superior con la finalidad de evitar el ingreso de agua (García, 2003).

#### **4.1.8 Conductor**

Es el elemento del cable que evita un contacto eléctrico del conductor con partes metálicas de la instalación o con otras partes activas. Además, dependiendo del tipo de cable y de el voltaje la que este diseñado, existen otros elementos que tiene por objeto lograr el mejor

aprovechamiento de las cualidades de los aislamientos y la preservación de esas cualidades (Armijos & Suquilanda, 2011).

#### **4.1.8.1 Criterios acerca de la sección de los conductores**

El cálculo de la sección de los conductores, se basa en obtener el valor de la sección normalizada del conductor, basado en criterios que se deben cumplir para estar dentro de los rangos que rigen las normas, en cuanto a la parte estructural y técnica, entre los diferentes criterios cabe destacar los siguientes:

- Criterio térmico, se lo reconoce como el calentamiento, producida por la intensidad circulante en función de la capacidad de carga que alimenta. En estos casos, la densidad de intensidad no debe ser superior a los valores operacionales del conductor, evitando el calentamiento del conductor, desgaste de aislamiento, reducción de la vida útil del conductor y evitar pérdidas por efecto Joule.
- Criterio de caída de tensión, las empresas distribuidoras tienen la obligación de brindar un servicio de calidad a los consumidores, con un nivel de tensión apropiado para el correcto funcionamiento e integridad de los aparatos eléctricos, y además cumplir con los valores porcentuales de fluctuación permisibles impuestas en la normativa.
- Criterio de corrientes de cortocircuito, en caso de existir alguna falla dando como resultado una sobrecorriente, el conductor debe ser capaz de soportar los efectos producidos por estas fallas como: calentamientos peligrosos y esfuerzos electrodinámicos elevados.
- Criterio de límite mecánico, de acuerdo a los vanos existentes dentro de una red de distribución dependiendo de la zona donde se encuentran, es importante tener en cuenta la resistencia del conductor a esfuerzos mecánicos, evitando accidentes y garantizando el suministro.
- Criterio económico, en los diseños de redes de distribución el costo debe ser lo más bajo posible, considerando márgenes de calidad en cuanto a los elementos a implementar para garantizar el correcto funcionamiento de la red, con la situación existente y si es necesario futuras extensiones de red (Paredes, 2021).

#### **4.1.8.2 Tipos y calibres normalizados**

Para líneas de distribución secundaria se han normalizado los siguientes tipos de conductores:

### **Conductor ACSR (Aluminio reforzado con núcleo de acero)**

En redes secundarias estos conductores son los más comunes, son conductores desnudos para instalación aérea, puede ser utilizado en circuito primario y secundario de distribución.

Los calibres normalizados son:

2, 1/0, 2/0, 3/0 y 4/0 AWG (Domínguez & Molina, 2011).

### **Conductor preensamblado**

Se encuentra constituido por dos o tres conductores y en redes trifásicas cuatro conductores, aislados individualmente entre sí, en el caso de las fases por lo general es de aluminio (ACS) y el neutro aluminio (AAAC), su disposición es en forma helicoidal (Domínguez & Molina, 2011).

Domínguez & Molina (2011), mencionan los conductores normalizados son:

#### **Circuitos monofásicos a 3 hilos:**

2 X 50mm<sup>2</sup> ACS + 1 X 50mm<sup>2</sup> AAAC

2 X 70mm<sup>2</sup> ACS + 1 X 50mm<sup>2</sup> AAAC

2 X 90mm<sup>2</sup> ACS + 1 X 50mm<sup>2</sup> AAAC

#### **Circuitos trifásicos:**

3 X 50mm<sup>2</sup> ACS + 1 X 50mm<sup>2</sup> AAAC

3 X 70mm<sup>2</sup> ACS + 1 X 50mm<sup>2</sup> AAAC

3 X 90mm<sup>2</sup> ACS + 1 X 50mm<sup>2</sup> AAAC

#### **4.1.8.3 Selección de conductor respecto al transformador**

Referente a la selección del conductor, por lo general, en redes aéreas en el sector rural se utiliza ACSR, en cambio, en el sector urbano el conductor será ACSR o preensamblado (Domínguez & Molina, 2011).

A continuación, se presentan de manera preliminar, los calibres de los conductores de acuerdo a la capacidad del transformador:

**Tabla 3. Mínimo calibre del conductor ACSR sector urbano**

<b>Transformador</b>	<b>Tipo</b>	<b>Conductor fase</b>
5,10,15 y 25	Monofásico	2 ACSR
37.5 y 50	Monofásico	1/0 ACSR
30	Trifásico	2 ACSR
50, 60 y 75	Trifásico	1/0 ACSR
100 y 112.5	Trifásico	2/0 ACSR
125	Trifásico	3/0 ACSR

*Fuente:* (Domínguez & Molina, 2011)

**Tabla 4. Mínimo calibre del conductor ACSR sector rural.**

Transformador	Tipo	Conductor fase
5, 10 y 15	Monofásico	2 ACSR
25	Monofásico	1/0 ACSR
30	Trifásico	2 ACSR
37.5	Monofásico	2 ACSR
50	Trifásico	1/0 ACSR
60	Trifásico	2/0 ACSR

*Fuente:* (Domínguez & Molina, 2011)

**Tabla 5. Mínimo calibre del conductor preensamblados sector urbano.**

Transformador	Tipo	Conductor fase y neutro
5,10,15,25,37.5 y 50	Monofásico	2x50mm <sup>2</sup> ACS + 1x50mm <sup>2</sup> AAAC
30,50,60 y 75	Trifásico	3x50mm <sup>2</sup> ACS + 1x50mm <sup>2</sup> AAAC
100,112.5 y 125	Trifásico	3x70mm <sup>2</sup> ACS + 1x50mm <sup>2</sup> AAAC

*Fuente:* (Domínguez & Molina, 2011)

**Tabla 6. Mínimo calibre del conductor preensamblados sector rural**

Transformador	Tipo	Conductor fase y neutro
5,10,15,25 y 37.5	Monofásico	2x50mm <sup>2</sup> ACS + 1x50mm <sup>2</sup> AAAC
30,50 y 60	Trifásico	3x50mm <sup>2</sup> ACS + 1x50mm <sup>2</sup> AAAC

*Fuente:* (Domínguez & Molina, 2011)

#### 4.1.9 Alumbrado público

Según Farinango (2001) , “Es la parte del sistema de distribución o del conjunto de elementos, que opera a la tensión secundaria del sistema, desde la cual se alimentan y controlan las lámparas de alumbrado de vías y espacios de uso público.”

La iluminación en las calles tiene como objetivo permitir visualizar tanto a los peatones como los vehículos, el lugar por donde están transitando, además favorece a la seguridad de las personas y genera mejor apreciación a la estética de la calle.

En la mayoría de proyectos de iluminación se enfatiza en algunos parámetros para poder deducir la *fuentes* de iluminación que cumpla con los requerimientos, enfatizando el tipo de luminaria la potencia, por lo que, son de importancia en el análisis de fluctuación de tensión en un sistema de distribución de baja tensión.

## 4.2 Capítulo II: Caída de voltaje en sistemas de distribución de baja tensión.

### 4.2.1 Niveles de voltaje

En un sistema de potencia existe algunos niveles de tensión de acuerdo en la parte en la que se encuentra la función a cumplir, es decir, para el transporte es necesario elevar el valor

de tensión, por otro lado, para la distribución se debe reducir dicho valor, en esta red se mantiene dos sistemas: primario y secundario.

El sistema primario mantiene valores de tensión: 22/12.7kV, 13.8/7.9kV y 6.3kV, el primer y segundo sistema hacen referencia a sistemas primario trifásicos de cuatro conductores y el tercero corresponde a un sistema primario de tres conductores.

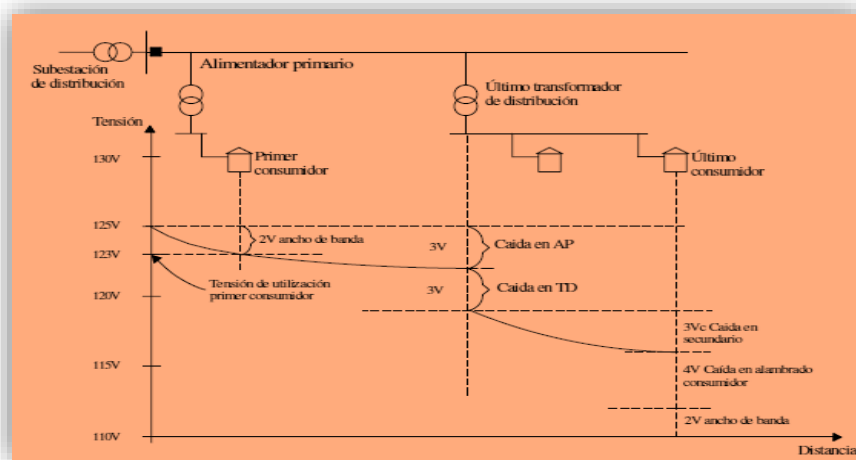
La red secundaria posee valores de tensión: 240/120 V y 220/127V, el primer sistema hace referencia a un sistema monofásico, en cambio, el siguiente se trata de un sistema trifásico, cada uno de ellos con la configuración de conductores correspondiente (Farinango, 2001).

#### 4.2.2 Caída de voltaje en sistemas de distribución

Un sistema de distribución debe proveer a los usuarios una buena calidad de la energía eléctrica y entre las características principales que tienen que ver con la calidad de la energía están: el bajo voltaje y el voltaje excesivo, que deben ser evitados (Farinango, 2001).

La mayoría de los equipos eléctricos tanto de uso residencial como industrial mantienen una cierta tensión nominal para la cual están diseñados, en la realidad es imposible entregar estos valores de tensión por la existencia de caída de tensión, sin embargo, estos equipos mantienen rangos de tensión en los cuales pueden funcionar. La caída de tensión es proporcional a la corriente circulante, por tal razón entre mayor es la distancia entre la fuente y punto de consumo el valor de caída de voltaje será mayor (Cano & Castaño, 2006).

En la **Figura 4**, se muestra mediante la gráfica el valor de tensión del servicio entregado al consumidor con respecto a la distancia a la que se encuentra del banco de transformación, en este trayecto la caída de tensión será proporcional a la corriente que fluye a través de la impedancia del sistema.



**Figura 4.** Perfiles de tensiones en un sistema de distribución  
*Fuente:* (Cano & Castaño, 2006)

#### **4.2.2.1 Variaciones de voltaje en un sistema de distribución**

Una banda de voltaje ocurre en cada punto de utilización. El ancho de banda y la localización de la misma con respecto al voltaje base depende de la localización eléctrica del consumidor respecto al sistema de distribución. En términos generales, las variaciones de voltaje en los puntos de utilización son más amplias para sistemas de distribución rural que para urbanos, principalmente porque los circuitos urbanos son más cortos en longitud y usan conductores de mayor diámetro (Farinango, 2001).

#### **4.2.2.2 Zonas de voltaje en un sistema de distribución**

Para cualquier nivel de voltaje específico, existen rangos de voltaje de operación que han sido considerados como satisfactorios para la operación de sistemas de distribución.

Una comisión mixta EEI-NEMA ha sugerido que los sistemas de distribución deben ser diseñados y operados de tal manera que la variación de voltaje a los terminales de la acometida de los abonados estén dentro de ciertos límites que proporcionen un voltaje aplicado de utilización (Farinango, 2001).

##### **4.2.2.2.1 Zona favorable.**

Esta zona contiene la mayoría de los voltajes de operación existentes. Los sistemas de distribución deben ser diseñados de forma que la mayoría de los voltajes de operación estén dentro de esta zona; igualmente, el equipo debe ser diseñado y tener valores nominales tales que tengan un comportamiento adecuado y eficiente dentro de esta zona (Farinango, 2001).

##### **4.2.2.2.2 Zona tolerable.**

Esta zona incluye voltajes de operación ligeramente mayores o menores que la zona favorable. Esta zona es reconocida como de operación normal, aunque no completamente deseable. La operación en los límites externos de esta zona debe ser limitada tanto en tiempo de operación como en el número de abonados que operen en estos límites (Farinango, 2001).

##### **4.2.2.2.3 Zona extrema.**

Esta zona no tiene límites definidos, pero normalmente se extienden en 2% a 3% por sobre o por debajo de la zona tolerable. La operación en esta zona debe ser solamente en forma temporal; o sea únicamente durante períodos de emergencia, tales como en el caso de falla, donde es necesario transferir carga o en periodos de construcción (Farinango, 2001).

En la **Tabla 7**, se describen para distintos valores de tensión, los valores superiores y menores al cual deben estar para considerar que se encuentran dentro de una dicha zona, como se visualiza la zona extrema con respecto a la favorable mantiene una diferencia palpable.

**Tabla 7.** Zonas de voltaje en un sistema de distribución de baja tensión

Voltaje nominal (V)	Zona Favorable	Zona Tolerable	Zona Extrema
120	110-125	107-127	103-131
120/240	110/220-125/250	107/214-127/254	103/209-131/260
120/208	114/197-125/217	111/193-127/220	107/190-131/225
240	210/240	200-250	190/260

*Fuente.* (Farinango, 2001)

#### 4.2.3 Cálculo de caída de voltaje

Los cálculos de caída de voltaje, se los debe realizar por cada tramo de la red, al final se obtiene una suma de las caídas de voltaje individuales para obtener un máximo valor de caída de voltaje. Para esto, se debe usar la demanda individual de los postes, distancias de los tramos, sección y momento eléctrico o FVD de los conductores, los valores del FDV se encuentra detallados en el **Anexo 1**.

Para el cálculo de la caída de tensión EMELNORTE, 2016, plantea la siguiente **Ecuación 3**.

$$\sum_{i=1}^N (\text{distancia}(p_{i-1}, p_i) * DMDn) / FDV \leq V_{\text{linea}} * \Delta V$$

**Ecuación 3**

Donde:

n: Número de postes

pi: coordenadas del poste pi

DMD: Demanda máxima diversificada

FDV: Valor del momento eléctrico

VLínea: Voltaje de línea en voltios

ΔV: Límite admisible de caída de voltaje

#### 4.2.4 Regulación de voltaje

Debido a las fluctuaciones de tensión en un sistema de distribución los equipos de los usuarios se ven directamente afectados en cuanto a sus características de operación, por lo tanto, existen normas que establecen zonas o bandas en las cuales se considera aceptable para la operación de los equipos. Estas normas reflejan el compromiso existente entre el fabricante y el sistema de distribución, en realidad es imposible garantizar valor de tensión sin variación por

ciertas razones en el punto de consumo; y, por otra parte, resultaría muy costoso crear una banda de voltaje excesivamente amplio en los equipos para su funcionamiento (Naranjo, 2008).

Anteriormente, se mencionó la relación de un voltaje de diseño de un equipo y el voltaje que entrega la empresa distribuidora y por lo cual es necesario una regulación, a continuación, se representa los más comunes:

En la **Tabla 8**, se concluye que, al realizar el uso o instalación de algunos de esos elementos tabulados, se expresa que equipo con ciertas características funciona con la tensión que mantiene nuestro sistema, es decir, el sistema mantiene un voltaje de 208 V el motor más apropiado a trabajar es el que mantiene 200V en la placa.

**Tabla 8. Voltaje de utilización**

Equipo de utilización	Voltaje nominal del sistema	Voltaje de diseño
Lámparas incandescentes	120-1 fase	120
Artefactos domésticos	120-1 fase	115
Motores monofásicos	120-1 fase	115
	240-1 fase	230
Motores trifásicos	208-3 fases	200
	240-3 fases	230
	480-3 fases	460
	2400-3 fases	2300
	4800-3 fases	4600

*Fuente.* (Naranjo, 2008)

#### 4.2.4.1 Regulación de voltaje en circuitos de distribución

Naranjo (2008) menciona, en diseños de redes de distribución es necesario basarse en ciertos límites, establecidos porcentualmente por la normativa interna o externa dentro del área de concesión de la empresa de distribución, antes de elaborar los cálculos pertinentes.

A continuación, se demuestran las bandas permisibles en un sistema de distribución según la norma COVENNIN, representadas en la **Tabla 9**.

**Tabla 9. Bandas permisibles de tensión en circuitos de distribución**

SISTEMAS MONOFÁSICOS		
TENSIÓN NOMINAL	LÍMITES MÍNIMOS Y MÁXIMOS PERMISIBLES	
	ZONA (A)	ZONA (B)
120	113,6 - 125	110,6 - 127
120/240	113,6/227,2 - 125/250	110,6/221,2 - 127/254
240/480	227,2/454,4 - 250/500	221,2/442,4 - 254/508
SISTEMAS TRIFÁSICO		
TENSIÓN NOMINAL	LÍMITES MÍNIMOS Y MÁXIMOS PERMISIBLES	
	ZONA (A)	ZONA (B)
120/208 Estrella	113,9/296,5 - 125/216	110,6/191,3 - 127/220
240 Delta	227,2 - 250	110,6/221,2 - 127/254
240/416 Estrella	227,2/393,9 - 250/432	221,2/382,6 - 254/440
240 Delta	434,4 - 500	414,4 - 508

*n. Fuente.* (Naranjo, 2008)



**Zona A:** En diseño de redes de distribución normalmente la mayoría de tensiones deben situarse dentro de esta banda, debido que los equipos eléctricos deben fabricarse una operación adecuada y eficiente en toda la banda (Naranjo, 2008).

**Zona B:** Esta banda permite el funcionamiento de los equipos eléctricos, aunque no son las más convenientes, por lo que, mantiene tensiones por encima y por debajo de la zona A, consideradas como una parte normal de la gama de tensiones (Naranjo, 2008).

### **4.3 Capítulo III: Análisis de los sistemas de distribución**

#### **4.3.1 Configuración de los sistemas**

Una red de distribución por lo general, se encuentra constituida por un sistema primario y secundario, la configuración de estos sistemas depende de las necesidades de la red, es decir, si se trata de una red trifásica o monofásica se debería realizar una configuración en particular a las necesidades presentes.

##### **4.3.1.1 Sistemas primarios**

Los sistemas primarios considerados por el modelo tendrán una disposición eminentemente radial y vertebrada para alimentar las cargas trifásicas o monofásicas del proyecto. Se utilizan los siguientes sistemas trifásicos para la alimentación primaria radial; de tres conductores y de cuatro conductores, los primarios monofásicos se obtienen de los anteriores tomando una fase y el neutro o dos fases (Farinango, 2001).

Armijos & Suquilanda (2011) plantea que el circuito de un alimentador primario se encuentra compuesto por:

- **Troncal:**

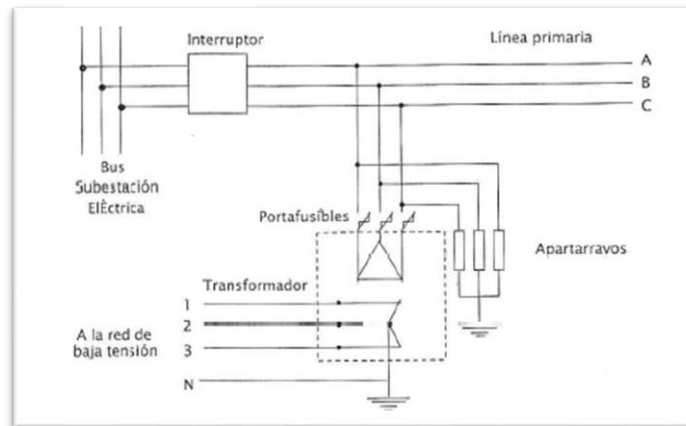
Es la parte del circuito primario que transmite energía eléctrica desde la subestación a los ramales, por lo tanto, los conductores mantienen una mayor sección, haciendo una analogía con sistemas de distribución de agua, la troncal hace referencia a la tubería principal, además el calibre del cable depende de la densidad de carga.

- **Ramal:**

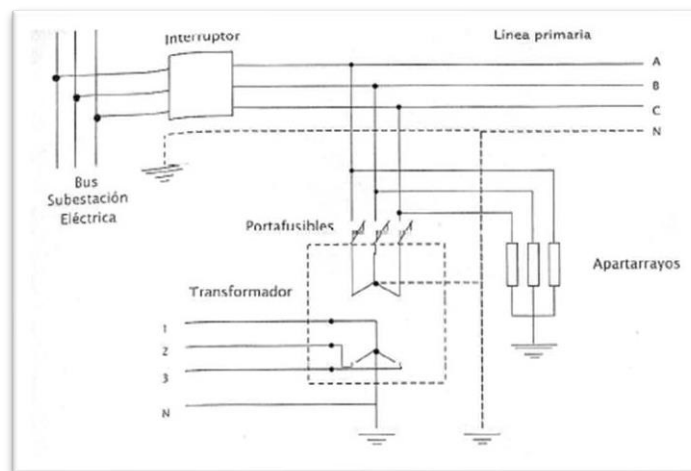
Es la parte del alimentador primario en el cual van conectados los transformadores de distribución y servicios particulares suministrados en medio voltaje. Normalmente son de calibre menor al de la troncal.

Las subestaciones son las encargadas de transformar niveles de tensión del sistema de transmisión a niveles adecuados para la distribución en cierto lugar, el sistema primario transporta energía a los diferentes transformadores, además, para este objeto se considera

algunas configuraciones, por lo general, las configuraciones de la **Figura 5** y **Figura 6**, son las más habituales, la única diferencia es la existencia del neutro desde la subestación.



**Figura 5.** Red primaria de tres hilos.  
*Fuente.* (Yebra, 2009)



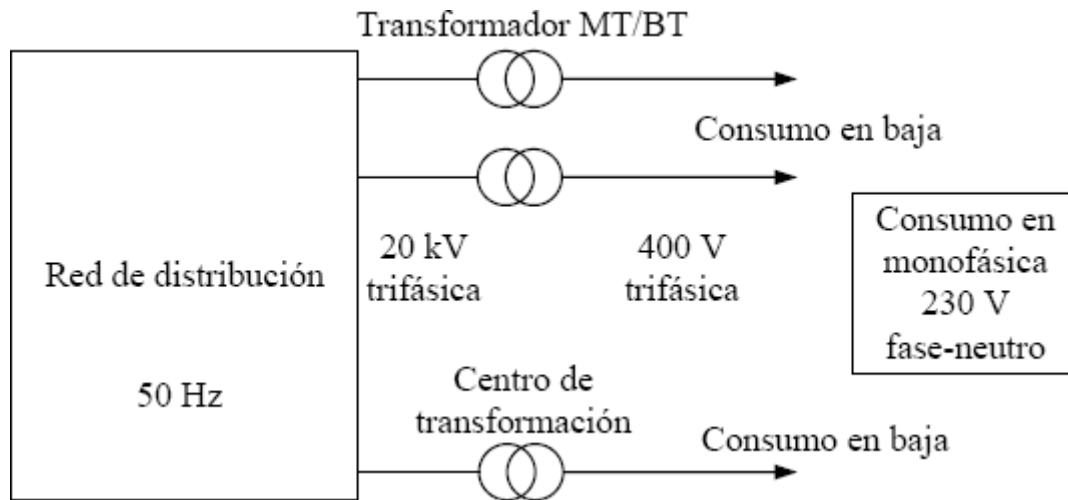
**Figura 6.** Red primaria de cuatro hilos.  
*Fuente.* (Yebra, 2009)

#### 4.3.1.2 Sistemas secundarios

En la mayoría de los casos las redes de baja tensión son monofásicas, enfatizando en la existencia de cargas residenciales y comerciales, con conexiones de dos fases o entre fase y neutro. Las redes de baja tensión parten de los centros de transformación hasta el consumidor, considerada en un área geográfica pequeña, con la finalidad de garantizar un servicio de energía eléctrica de calidad con fluctuaciones de tensión dentro los valores normativos (Conejo et al., 2007).

Los sistemas secundarios considerados por el modelo tendrán una disposición eminentemente radial, los circuitos secundarios considerados son: trifásicos de cuatro conductores y monofásicos de tres conductores (Farinango, 2001). Véanse en la **Figura 7**.

En análisis realizados a las diferentes configuraciones de los sistemas secundarios de distribución, se concluye que los sistemas trifásicos cuatro hilos mantienen la facultad de una mejor distribución de carga en comparación a los demás; cabe destacar que el análisis realizado solo se considera un análisis matemático muy sencillo, para obtener un mejor resultado es necesario involucrar algunos más factores como: costo de los transformadores, costo de los conductores, regulación, etc (Yebra, 2009).



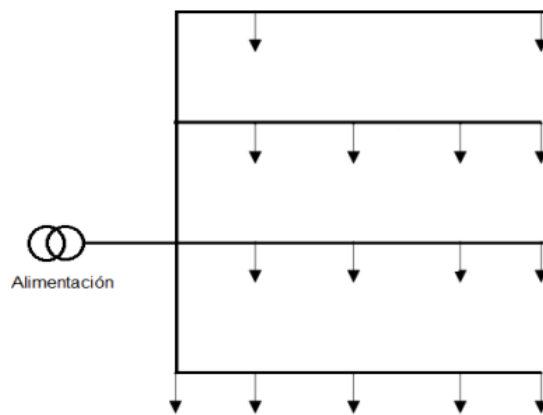
**Figura 7.** Suministro en baja tensión a través de la red de distribución y los centros de transformación.  
Fuente. (Conejo et al., 2007)

### 4.3.2 Topologías de redes de distribución

En función de la estructura de la red de distribución, se pueden clasificar en redes radiales, redes de anillo y redes malladas.

#### 4.3.2.1 Redes radiales

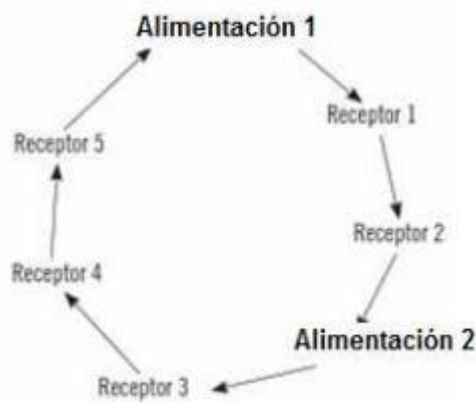
Estas redes se alimentan desde un solo punto, desde la red de media tensión a través de un centro de transformación, suministrando la energía en forma radial, véase **Figura 8**. Red radial. La ventaja de esta topología, hace que el método de explotación sea más económico y más simple desde el punto de vista de diseño, en cuanto a planificación y la protección. La desventaja que presenta esta topología, no se garantiza un servicio ininterrumpido, por lo que, al tener una sola dirección de energía y al existir una falla, los consumidores aguas abajo quedarían desconectados y sin suministro eléctrico (Pino, 2016).



**Figura 8.** Red radial  
*Fuente:* (Pino, 2016)

#### 4.3.2.2 Redes en anillo

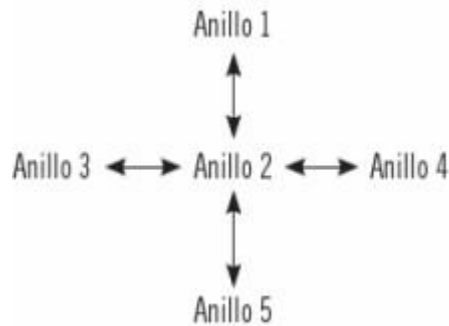
La configuración de estas redes según Pino (2016), se caracteriza por estar alimentada por dos de sus extremos, estando intercalados los receptores entre estos, formando un anillo cerrado, véase **Figura 9**. A diferencia de la red radial, esta topología ofrece mayor continuidad del servicio, debido que se puede realizar la alimentación desde distintos puntos, además el mantenimiento de la red se facilita. Es más compleja que la radial, en aspectos constructivos y la planificación de las protecciones del sistema.



**Figura 9.** Red en anillo  
*Fuente:* (Pino, 2016)

#### 4.3.2.3 Red en malla

Es la combinación de redes en anillo, interconectadas en forma radial como se muestra en la **Figura 10**. Estas redes no presentan interrupciones en el suministro de servicio a los consumidores, aumentado la flexibilidad de la red, así mismo la facilidad a su mantenimiento (Pino, 2016).



**Figura 10.** Red en malla  
Fuente: (Pino, 2016)

### 4.3.3 Normativa de redes secundarias CENTROSUR.

La Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR, es una de las empresas distribuidoras más importantes del Ecuador, por capacidad de manejo técnico administrativo. Es así que se ha visto la necesidad de normar los lineamientos en las redes secundarias para los proyectistas o diseñadores (Domínguez & Molina, 2011).

#### 4.3.3.1 Tipos de redes

##### 4.3.3.1.1 Número de fases

Según (Domínguez & Molina, 2011), plantea las siguientes configuraciones:

#### Monofásica:

- **Monofásico Trifilar** 1F3C, compuesta por una fase, tres conductores.  
Usado para áreas de baja densidad de carga, generalmente se aplica al sector residencial.
- **Monofásico Bifilar** 1F2C, compuesta por una fase, dos conductores. Fase y neutro.  
Utilizado comúnmente en sector residencial.

#### Trifásica:

- **Trifásica tetrafilar** 3F4C, es decir tres fases cuatro conductores. Es la más utilizada. Este sistema es más usado en áreas de alta densidad de cargas, donde se requiera servicio trifásico. Alimenta cargas residenciales, comerciales e industriales.
- **Trifásica trifilar** 3F3C, es decir tres fases tres conductores. Utilizada en zonas de carga trifásica equilibrada (industrial).

##### 4.3.3.1.2 Tensiones de suministro y límites para servicio monofásico y trifásico.

La tensión de suministro para una red secundaria, mantiene valores inferiores a  $T_s \leq 600$  V. Para disminuir las pérdidas por el efecto joule, la tensión debe ser elevada, por otro lado, se debe considerar el área geográfica y el tipo de abonado (Domínguez & Molina, 2011).

La **Tabla 10**, muestra los límites de tensión para red secundarias, en cuanto a servicio monofásico y trifásico, respecto a la carga instalada.

**Tabla 10.** Los límites para el servicio monofásico y trifásico.

<b>Límites para servicio en la red secundaria</b>		
<b>Servicio</b>	<b>Tensión Suministro</b>	<b>Carga Instalada</b>
Monofásico	120 V	Menor a 4 kW
Monofásico	120/240 V	Mayor a 4 kW
Trifásico 2 fases Trifilar	127/220 V	Mayor a 4 kW
Trifásico Tetrafilar	127/220 V	Mayor a 4 kW

*Fuente:* (Domínguez & Molina, 2011)

#### **4.3.3.1.3 Longitud de redes**

En redes secundarias, existen distancias normalizadas entre postes según Domínguez & Molina (2011):

- Sector urbano: 30 – 40 m.
- Sector rural: Aproximadamente 60 m, se puede alcanzar valores mayores, dependiendo de la configuración geográfica.

#### **4.3.3.2 Niveles de calidad**

La distribución y comercialización de energía, debe cumplir con ciertos requerimientos de calidad como: caída de tensión, factor de potencia y pérdidas de potencia en redes secundarias y transformadores de distribución.

##### **4.3.3.2.1 Factor de potencia**

En diseño para el cálculo de la caída de tensión (FDV), se considera un factor de potencia de 0.98. En cuanto a los sectores de consumo como residencial e industrial-comercial se exige un factor de potencia 0.9: 0.92 respectivamente, al incumplir estos valores se aplicará una multa de parte de la empresa distribuidora (Domínguez & Molina, 2011).

##### **4.3.3.2.2 Caída de voltaje admisible para red secundaria**

La caída de tensión admisible, en el punto eléctricamente más alejado de la fuente, con la demanda de diseño considerada, no deberá superar para la red secundaria los siguientes límites:

- Área Urbana: 6%
- Área Rural: 4.5%

Por lo tanto, en el análisis de una red existente, se debe corroborar que los valores que se mantienen no superen ciertos límites, caso contrario se debe aplicar acciones con la finalidad de estar dentro de los márgenes establecidos (Domínguez & Molina, 2011).

#### 4.3.3.2.3 *Pérdidas de potencia*

Se refiere a las pérdidas técnicas de potencia, en diseños las pérdidas de potencias recomendadas, no deben superar el 3% de la demanda máxima de diseño.

En cuanto a la evaluación de transformadores, el porcentaje de pérdidas será del 2% la capacidad nominal, con la finalidad que, a corto o largo plazo, el transformador opere con pérdidas menores tanto técnico como en lo económico (Domínguez & Molina, 2011).

#### 4.3.4 *Normativa para el dimensionamiento de redes secundarias de la empresa CENTROSUR*

Para la ejecución de diseños, es necesario la aplicación de unas ciertas actividades de cálculo y diseño, con el objeto preliminar de establecer procedimientos para el trazado, dimensionamiento, configuración y localización de elementos que componen la red (Domínguez & Molina, 2011).

##### 4.3.4.1 **Demanda de diseño**

La demanda máxima unitaria, mantiene incidencia sobre el dimensionamiento de los elementos de la red y el computo de la caída de voltaje, en el análisis de la demanda además de considerar los abonados en cada uno de los puntos, se debe considerar la carga por alumbrado público y cargas especiales (Domínguez & Molina, 2011).

Para determinar la demanda de diseño para la red secundaria mediante el siguiente procedimiento:

- 1 Identificar el o los tipos de abonados existentes, alumbrado y cargas especiales, tomando en cuenta que, dentro del área de concesión de la CENTROSUR, existen algunos estratos o categorías, de acuerdo a cada estrato existe un factor B a considerar, como se muestra en la **Tabla 11**.

**Tabla 11.** Factor B, con respecto a los estratos existentes, en el área de concesión de la empresa CENTROSUR.

<b>Estrato</b>	<b>Factor B</b>
<b>A1</b>	2,08
<b>A</b>	1,45
<b>B</b>	0,95
<b>C</b>	0,583
<b>D</b>	0,379
<b>E</b>	0,22

*Fuente:* (CENTROSUR, 2018)

- 2 Determinar el factor A, el cual depende del número de consumidores existentes, como se detalla en la **Tabla 12**

**Tabla 12.** Factor A en base al consumo de energía

Consumidores	Factor A	Consumidores	Factor A	Consumidores	Factor A	Consumidores	Factor A	Consumidores	Factor A
		41	53,4	105	122	310	325	820	832
		42	54,5	110	128	320	335	840	853
		43	55,5	115	133	330	344	860	873
		44	56,7	120	138	340	354	880	891
5	9,49	45	57,9	125	143	350	364	900	911
6	10,8	46	59	130	148	360	373	920	931
7	12,1	47	60,2	135	153	370	383	940	951
8	13,5	48	61,4	140	159	380	393	960	972
9	14,8	49	62,4	145	163	390	403	980	992
10	16,1	50	63,5	150	168	400	412	1000	1010
11	17,4	51	64,7	155	173	410	422	1050	1059
12	18,7	52	64,7	160	178	420	432	1100	1108
13	20,1	53	66,7	165	183	430	442	1150	1157
14	21,4	54	68	170	188	440	452	1200	1207
15	22,7	55	69	175	193	450	462	1250	1255
16	24	56	70,2	180	198	460	472	1300	1304
17	25,3	57	71,2	185	203	470	481	1350	1353
18	26,6	58	72,3	190	208	480	491	1400	1400
19	27,8	59	73,6	195	213	490	501	1450	1450
20	29,2	60	74,5	200	218	500	512	1500	1500
21	30,4	62	76,7	205	223	510	522	1600	1600
22	31,7	64	78,9	210	228	520	532	2000	2000
23	32,8	66	81,1	215	233	530	542	2400	2400
24	33,9	68	83,2	220	238	540	551	2800	2800
25	34,9	70	85,4	225	243	550	561	3200	3200
26	36	72	87,6	230	247	560	571	3600	3600
27	37,2	74	89,7	235	252	570	582	4000	4000
28	38,9	76	91,8	240	257	580	592	4400	4400
29	39,5	78	93,9	245	262	590	601	4800	4800
30	40,7	80	96	250	267	600	612	5200	5200
31	41,9	82	98,3	255	272	620	631	5500	5500
32	43,1	84	100	260	276	640	652	6000	6000
33	44,3	86	102	265	282	660	672	6500	6500
34	45,4	88	104	270	287	680	692	7000	7000
35	46,6	90	107	275	291	700	713	7500	7500
36	47,7	92	109	280	296	720	733	8000	8000
37	48,9	94	111	285	301	740	753	8500	8500
38	50	96	113	290	306	760	772	9000	9000
39	51,2	98	115	295	310	780	793	9500	9500
40	52,3	100	117	300	315	800	812	10000	10000

*Fuente:* (Campoverde & Sánchez, 2012)

- 3 CENTROSUR (2018) menciona para determinar el factor de demanda considerando las cocinas de inducción, se encuentra con la **Ecuación 4**.



$$FC_{CI} = 0.485 * (N)^{-0.128443} + 0.037 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

N= Número de usuarios

FC<sub>CI</sub>= Factor de coincidencia considerando las cocinas de inducción.

4 Demanda máxima diversificada de las cocinas de inducción, según CENTROSUR (2018) se determina aplicando la **Ecuación 5**.

$$DMD_{NCI} = 0.6 * N * FC_{CI} * DMU_{CI} [kW] \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

DMU<sub>CI</sub>=Demanda máxima unitaria de las cocinas de inducción.

Considerando un valor estándar de demanda para las cocinas de inducción, se propone un valor de demanda unitaria de 3.20 kW (CENTROSUR, 2018).

5 Demanda máxima coincidente considerando la utilización de equipos eléctricos de uso general y para la cocción de alimentos, según CENTROSUR (2018) plantea la siguiente **Ecuación 6**:

$$DMD = Factor A * Factor B + DMD_{CI} [kW] \quad \text{Ecuación 6}$$

#### 4.3.4.2 Dimensionamiento del transformador

Para determinar la capacidad nominal del transformador, se debe considerar además de la demanda máxima coincidente, debe considerar la carga del alumbrado público, en este caso se debe realizar los siguientes pasos:

1. Factor de sobrecarga, este valor depende del estrato donde se encuentra la red, como se muestra en la **Tabla 13**:

**Tabla 13.** Factor de sobrecarga del transformador

Categoría	Factor
A1 y A	0,9
B y C	0,8
D...E	0,7

*Fuente:* (Carpio & Marín, 2017)

2. Para determinar la capacidad del transformador, Carpio & Marín (2017) plantea la siguiente **Ecuación 7**.

$$kVA(t) = \frac{DMD}{Fp} + \frac{Ap}{Fp} * \eta \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

kVA(t) = Capacidad del transformador.

DMD = Demanda máxima coincidente considerando la utilización de equipos eléctricos de uso general y para la cocción de alimentos.

$A_p$  = Carga de alumbrado público.

$\eta$  = Factor de sobrecarga.

$F_p$  = Factor de potencia.

#### **4.4 Capítulo IV: Algoritmo**

##### **4.4.1 El algoritmo**

El primer objetivo de un programador es descomponer la tarea para especificar un plan detallado y realizable (un algoritmo) que solucione el problema, considerando que un algoritmo no es otra cosa que un conjunto de pasos ordenados, secuenciales encaminados a solucionar un problema (Balcázar, 2014).

##### **4.4.2 Diagramas de flujo**

Un diagrama de flujo es la representación gráfica de un proceso, es decir un algoritmo representado de forma gráfica, donde el control fluye explícitamente de una a otra figura que se encuentran interconectadas (Balcázar, 2014).

##### **4.4.3 Modelo de resolución de problemas**

Para abordar la resolución de problemas de las características que estamos comentando, los autores proponen entrenar a los alumnos, en el marco de las clases de Ciencias, en una metodología de trabajo que incluya las siguientes etapas (Balcázar, 2014):

- a) Análisis cualitativo del problema
- b) Emisión de hipótesis
- c) Diseño de posibles estrategias de resolución
- d) Resolución del problema
- e) Análisis de resultados

##### **4.4.4 Características de los algoritmos**

**Entrada:** todo algoritmo debe tener cero (0) o más elementos de entrada. Como valores, cantidades, condiciones, etc.

**Proceso:** cálculos necesarios para encontrar la solución del problema.

**Salida:** todo algoritmo produce uno o más elementos como resultado.

**Finito:** todo algoritmo tiene un número fijo de pasos.

**Precisión:** cada paso del algoritmo debe definirse con exactitud, sin ambigüedades.

**Validez:** el algoritmo debe ser exitoso y producir resultados esperados. Si el número de pasos está condicionado a un dato y este no se da, el proceso nunca terminaría y diremos por tanto que el algoritmo esno-válido (Balcázar, 2014).

#### ***4.4.5 Lenguaje de programación***

Un programa es un conjunto de instrucciones que se dan al ordenador indicándoles las operaciones o tareas a realizar. Estas instrucciones se dan en un determinado lenguaje de programación, el cual tiene una determinada sintaxis (palabras clave, símbolos) y debe redactarse cumpliendo una determinada gramática (reglas) (Fernández et al., 2005).

## 5 Metodología

### 5.1 Área de estudio

La metodología aplicada está orientada al cumplimiento de los objetivos propuestos en presente trabajo de titulación, con la finalidad de evaluar la situación técnica y la configuración de las redes existentes dentro del área concesión de la empresa eléctrica CENTROSUR, la misma que abarca la provincia del Azuay, Cañar y Morona Santiago.

Para la aplicación y evaluación del algoritmo, se propone el análisis en una red existente, ubicada en la provincia del Azuay en la ciudad de Gualaceo, como se muestra en la **Figura 11**.



**Figura 11.** Ubicación del área de estudio, red existente a evaluar

### 5.2 Materiales

En el desarrollo del presente trabajo de titulación se hizo uso de los siguientes materiales: equipos de oficina y softwares, como se muestra en la **Tabla 14**.

**Tabla 14.** Materiales utilizados

Equipos de oficina	Software
Computadora portátil	AutoCAD 2018
	Excel 2019
	Word 2019
	MATLAB
	Geovisor Público
	Google Earth

*Fuente:* Autor

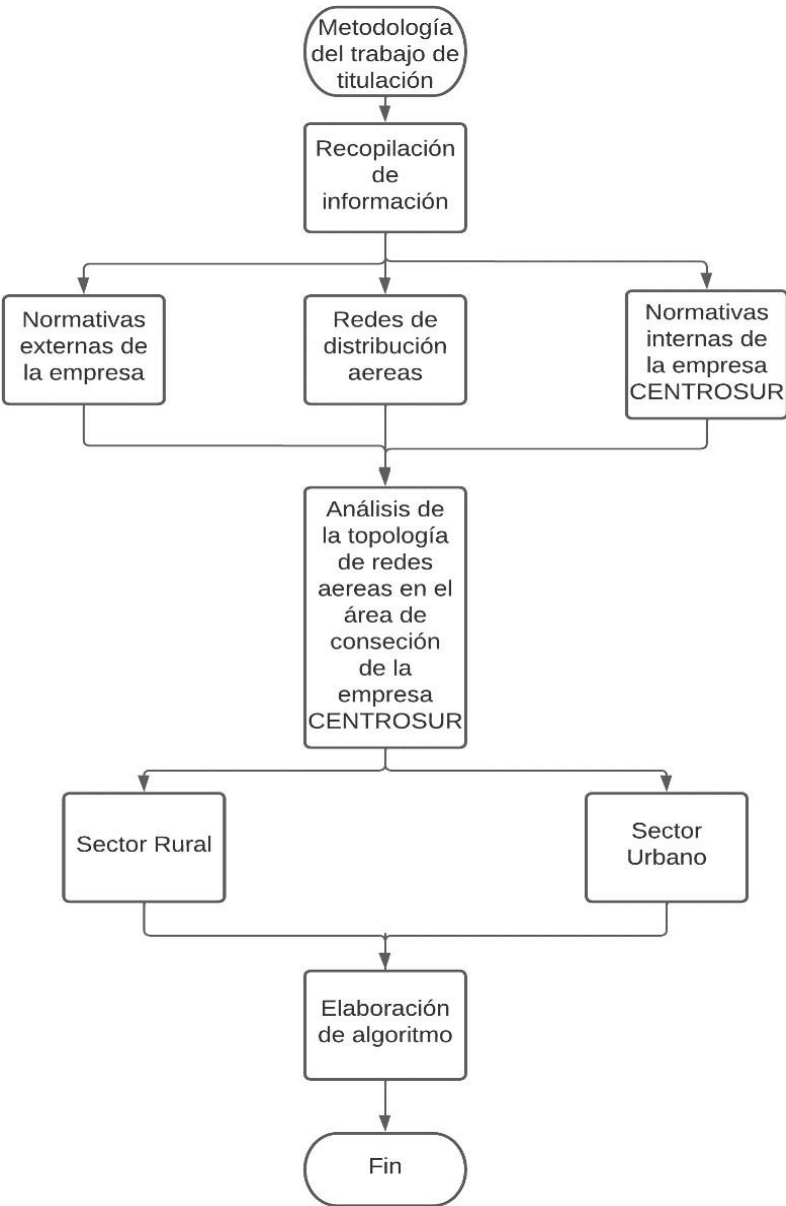
### 5.3 Procedimiento

El presente trabajo se basa en la recopilación de información concerniente a todo lo relevante a sistemas de distribución de baja tensión, destacando los aspectos técnicos y estructurales que debe poseer una red, según las normativas internas y externas vigentes de la empresa eléctrica CENTROSUR y el ex Ministerio de Electricidad y Energías Renovables.

Se realizó un levantamiento de las redes existentes en el área de concesión de la empresa CENTROSUR, para lo cual se utilizó los archivos internos de la empresa con la ayuda del

programa AutoCAD, con la finalidad de seleccionar una red y obtener el número de transformador e ingresarlo en el Geovisor Público poder obtener las coordenadas y proceder a describir la red en el software Google Earth para realizar el análisis.

Obtenidas las características que de acuerdo a las normas debe poseer una red y la configuración evaluada de las redes existentes dentro del área de concesión de la empresa eléctrica CENTROSUR, tanto en el sector rural como urbano, se realizó un algoritmo en el software MATLAB teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas. Para mejor comprensión se representa el flujograma que describe la metodología aplicada en el trabajo de titulación, véase **Figura 12**.



**Figura 12.** Flujograma de la metodología aplicada en el trabajo de titulación  
*Fuente:* Autor

### 5.3.1 Recopilación de información

De manera previa a la investigación se realizó una recopilación de la información de fuentes secundarias relacionadas a la configuración que debe mantener una red de distribución secundaria, entre los principales documentos utilizados se encuentran:

- Normas Técnicas Para Diseño y Expansión de las Redes Secundarias del Sistema de Distribución de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. 2011.
- Redes de Distribución Eléctrica 2012.
- Codificación y homologación de las unidades de propiedad del sistema de distribución.
- Sistemas eléctricos de distribución 2009.

### 5.3.2 Análisis de las topologías de red de distribución

Seguidamente, se realizó una inspección en los archivos internos de la empresa eléctrica CENTROSUR, con la finalidad de realizar un análisis de topologías y levantamiento de las redes urbanas y rurales a cada una de las regiones que la empresa suministra energía eléctrica.

#### 5.3.2.1 Levantamiento de redes secundarias en la región Sierra

La CENTROSUR distribuye energía en la región Sierra a las provincias de Azuay y Cañar, por lo tanto, se ha seleccionado la subestación SE-02 para evaluar el sector urbano y SE-15 para el rural.

##### 5.3.2.1.1 Sector urbano.

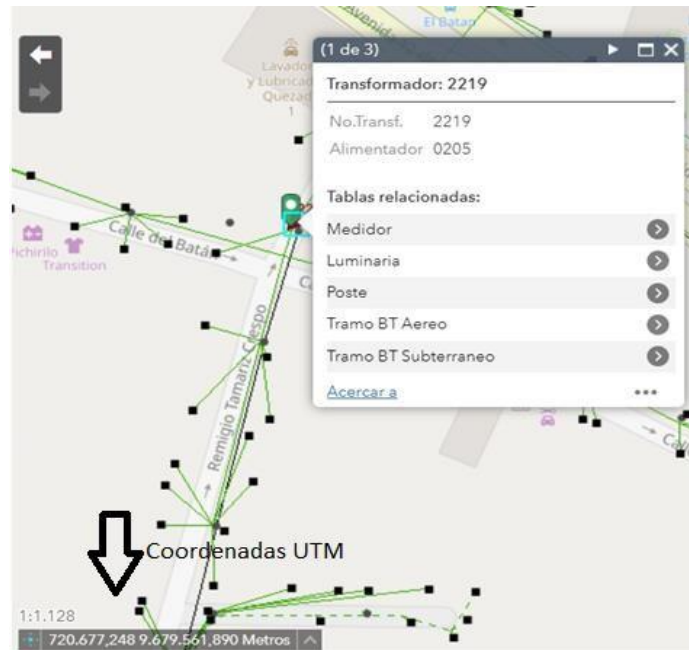
Primeramente, se realizó un análisis al mapa energético de la SE-02, con la finalidad de localizar una red de baja tensión aérea y poder delimitar su extensión. Esta subestación mantiene el suministro eléctrico a la parte céntrica de la ciudad de Cuenca véase **Figura 13**.



**Figura 13.** Mapa energético de la subestación SE-02 CENTROSUR.

*Fuente:* Autor

Luego de una larga exploración en el mapa energético SE-02, se selecciona una red de distribución de baja tensión para realizar su levantamiento y análisis, se extrajo información como el número del transformador **2219**, con la finalidad de poder explorar en el Geovisor Público y obtener las coordenadas UTM del mismo, véase **Figura 14**.



**Figura 14.** Ubicación del centro de transformación en el Geovisor Público.

*Fuente:* Autor

Seguidamente se exploró en el Google Earth con las coordenadas obtenidas en el Geovisor  $720677.248mE - 9679561.890mS$  **Figura 15**, y se procedió a describir la configuración red de acuerdo a los archivos internos, véase **Figura 16**.



**Figura 15.** Ubicación referencial de la red secundaria en el sector urbano.

*Fuente:* Autor



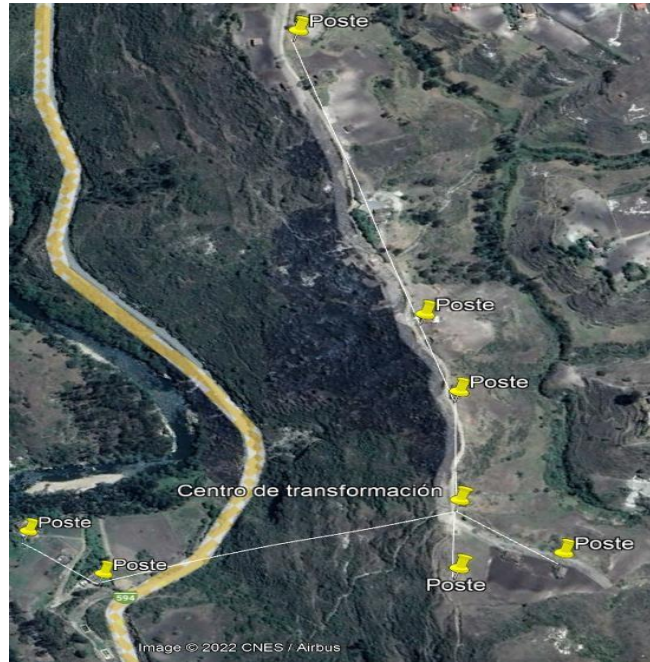
**Figura 16.** Red secundaria aérea en el sector urbano, dentro del área de suministro de la subestación SE-02 CENTROSUR-Cuenca.

*Fuente:* Autor

#### **5.3.2.1.2 Sector rural.**

Se realizó un análisis al mapa energético de la SE-15, con la finalidad de localizar una red de baja tensión aérea en el sector rural y poder delimitar su extensión. Esta subestación mantiene el suministro eléctrico en algunos sectores de la provincia del Azuay, prevaleciendo el sector rural, por lo tanto, se podría deducir que todas las redes aéreas mantienen la misma configuración, exceptuando los céntricos de barrios, parroquias que mantienen una similitud con las redes urbanas. La red para análisis se encuentra ubicada en el sector el Guabo, en la parroquia Simón Bolívar, cantón Gualaceo y sus coordenadas son  $744215.592mE - 9670076.32mS$ , véase **Figura 17**, el levantamiento de la red se realizó con el procedimiento desarrollado en la red del sector urbano.





**Figura 17.** Red secundaria aérea en el sector rural, dentro del área de suministro de la subestación SE-15 CENTROSUR-Cuenca.

*Fuente:* Autor

Luego de realizar el levantamiento de una red ubicada en sector rural es necesario realizar un análisis, en el software Google Earth, con la finalidad de demostrar las características, particulares de este tipo de red.

### **5.3.2.2 Levantamiento de redes secundarias en la región Oriente**

La CENTROSUR suministra energía en la región Oriental a la provincia de Morona Santiago, en este caso no existe varios archivos internos como en la región Sierra por cada una de las subestaciones, en este caso existe un único documento denominado DIMS, el cual mantiene todo el mapa energético de dicha provincia.

#### **5.3.2.2.1 Sector urbano.**

Evaluando el archivo DIMS, se realizó el procedimiento antes mencionado, el levantamiento de la red que se encuentra ubicada en la ciudad de Macas sus coordenadas son  $819783.00 \text{ m E} - 9746765.00 \text{ m S}$ , luego de haber localizado la red se procede a realizar la descripción de la configuración de la misma en el software Google Earth como se muestra en la **Figura 18**, basado en la información dispuesto en el mapa energético de la empresa eléctrica CENTROSUR.



**Figura 18.** Red secundaria aérea en el sector urbano, dentro del área de suministro DIMS CENTROSUR- Macas

*Fuente: Autor*

#### 5.3.2.2.2 Sector rural.

Al igual que los anteriores pasos, se realiza el levantamiento a una red ubicada en las coordenadas 798140.00 m E - 9703321.00 m S, una vez ubicada la red se procede a realizar su descripción en el Google Earth, para realizarle un análisis, como se muestra en la **Figura 19**.



**Figura 19.** Red secundaria aérea en el sector rural, dentro del área de suministro DIMS CENTROSUR

*Fuente: Autor*

### 5.3.3 Elaboración de algoritmo

Considerando lo antes mencionado, se dio inicio al desarrollo del algoritmo, basado en el flujograma descrito en el **Anexo 2**, se detalla el funcionamiento y lógica del mismo, describiendo las diferentes condiciones, fórmulas y procesos.

#### 5.3.3.1 Análisis de dimensionamiento del transformador existente

La evaluación de la potencia del transformador existente, considerando la implementación de la cocción eficiente, se realiza mediante un análisis basado en función algorítmica denominada Trafo, véase **Figura 20**. La función Trafo evalúa lo descrito en el Capítulo III, referente a la Demanda de diseño y Dimensionamiento del transformador de acuerdo a la hoja técnica de la CENTROSUR.

```
PrimerPaso=input('Desea realizar el analisis de dimensionamiento del transformador s/n: ', 's');
if PrimerPaso == 's'
    Trafo()
end
if PrimerPaso == 'n'
    return;
end
```

**Figura 20.** Proceso de análisis de dimensionamiento del transformador  
*Fuente:* Autor

#### 5.3.3.2 Análisis de caída de tensión en la red existente

La caída de tensión presente en la red se examina con la función mostrada en la **Figura 21**, en este caso la función Caída, se basa en el cálculo de la caída de tensión en cada uno de los ramales que mantienen la red, desde el centro de transformación hasta el punto final de dicho ramal, como lo expresa la **Ecuación 3**.

```
SegundoPaso=input('Desea realizar el analisis de la caida de tension s/n: ', 's');
if SegundoPaso=='s'
    Caída()
end
if SegundoPaso=='n'
    return;
end
```

**Figura 21.** Proceso de análisis de caída de tensión en la red  
*Fuente:* Autor

#### 5.3.3.3 Análisis de reconfiguración y caída de tensión en una nueva red

En caso de existir una caída de tensión superior a los límites permisibles en alguno de los ramales, el proceso se finalizará y otorga la posibilidad, de ejecutar una reconfiguración de la red como se demuestra en la **Figura 22**, la cual permite realizar la veces que sean necesario estos dos pasos hasta cumplir con el objetivo, de obtener un valor de caída de tensión por debajo

de lo que dicta la norma en el Capítulo III con respecto a Caída de voltaje admisible para red secundaria.

En la **Figura 22**, se representa dos funciones algorítmicas, como es Reconfiguración y Caída, la primera hace referencia al cálculo del centro de masa, como localización ideal del centro de transformación, para ello se aplicó la **Ecuación 1** y **Ecuación 2**. Por otro lado, la segunda función permite realizar el análisis de caída tensión antes descrito.

```
Condicion = 1;
while Condicion == 1
    TercerPaso=input('Desea realizar analisis de reconfiguracion de la red s/n: ','s');
    if TercerPaso=='s'
        Reconfiguracion();
    end
    if TercerPaso=='n'
        return;
    end
    CuartoPaso=input('Desea realizar el analisis de caida de tension en la nuevas redes s/n: ','s');
    if CuartoPaso == 's'
        NumRedes=input('Cuantas redes desea analizar la caida de tension: ');
        for o=1:NumRedes
            Caida();
            CuartoPaso='s';
        end
        fprintf('Una vez analizada la caida de tension en cada una de las redes reconfiguradas\n');
        Reconfi=input('Desea realizar una reconfiguracion s/n: ','s');
        if Reconfi == 's'
            Condicion=1;
        end
        if Reconfi == 'n'
            Condicion =2;
        end
    end
end
end
```

**Figura 22:** Proceso de reconfiguración y caída de tensión en nuevas redes.

*Fuente:* Autor

#### 5.3.3.4 Análisis estructural para extensión de media tensión.

Identificado los sitios para la ubicación de nuevos transformadores obtenidos en la reconfiguración, es necesario evaluar el estado estructural de los postes para extender la línea de media tensión, en este caso se planteó una función denominada Estructural véase **Figura 23**, la cual mantiene un análisis comparativo entre la altura de los postes existentes con respecto a lo que dicta la normativa expuesta para sostener media tensión de doce metros, descrita en el Capítulo I referente a Postes.

```

QuintoPaso=input('Desea realizar analisis para extension de media tension s/n: ','s');
if QuintoPaso=='s'
    Estructural();
end
if QuintoPaso=='n'
    return;
end

```

**Figura 23.** Proceso de análisis para extensión de media tensión.

*Fuente:* Autor

### 5.3.3.5 Dimensionamiento de nuevo transformador

El dimensionamiento del nuevo transformador para la red reconfigurada, se realiza mediante la función Trafo como se observa en la **Figura 24**, la diferencia con el análisis de un transformador existente es que al ingresar a esta función se debe seleccionar la opción de nuevo transformador e ingresar la información solicitada.

```

SextoPaso=input('Desea realizar el analisis de dimensionamiento del transformador s/n: ','s');
if SextoPaso == 's'
    Trafo()
end
if SextoPaso == 'n'
    return;
end

```

**Figura 24.** Proceso de análisis de dimensionamiento de nuevo transformador

*Fuente:* Autor

## 6 Resultados

### 6.1 Normativa del estado estructural y técnico de redes secundarias, en el área de concesión de la empresa CENTROSUR.

Para el desarrollo del algoritmo, es necesario tener presente las condiciones estructurales y técnicas que debe mantener una red aérea de baja tensión, por lo tanto, con la recopilación de información basado en las normativas tanto internas como externas de la empresa CENTROSUR.

#### 6.1.1 Estado estructural

##### 6.1.1.1 Número de fase

Las redes de baja tensión de acuerdo al número de fases mantienen ciertas configuraciones, de acuerdo al capítulo IV en cada una de estas configuraciones, se describe como está constituida en cuanto a fases y número de conductores.

##### 6.1.1.2 Longitud de red

Las redes secundarias dependiendo el sector, existen distancias normalizadas para cada una de ellas, de acuerdo al capítulo III, se menciona las siguientes distancias:

- Sector urbano: 30 – 40 m.
- Sector rural: Aproximadamente 60 m, se puede alcanzar valores mayores, dependiendo de la configuración geográfica.

##### 6.1.1.3 Transformador

Se debe tener en cuenta que la capacidad máxima de un transformador, para el montaje en poste es 150 kVA. De acuerdo con el tipo de transformador, existen algunas capacidades, como se representa en la **Tabla 1**.

##### 6.1.1.4 Poste

Según la homologación de las unidades de propiedad en sistemas de distribución, se ha normalizado los valores de altura y de carga de los postes como se demuestra en la **Tabla 2**.

##### 6.1.1.5 Conductor

La empresa CENTROSUR, mantiene una normativa interna, la cual mantiene normalizado el tipo y el calibre del conductor para red de baja tensión, como se expone en el Capítulo I de este trabajo de titulación. Además, el mínimo calibre conductor respecto al transformador y el sector donde se encuentra la red como se muestra en las **Tabla 3**, **Tabla 4**, **Tabla 5** y **Tabla 6**.

## 6.1.2 Estado técnico

### 6.1.2.1 Niveles de tensión

Le tensión de suministro para una red secundaria, dispone de valores inferiores a 600V. En este caso se demuestra los diferentes valores de tensión de acuerdo con el tipo de red existente como se muestra en la **Tabla 10**.

### 6.1.2.2 Caída de tensión

La caída de tensión admisible en el punto de electrificación más alejado de la fuente, de acuerdo al área que se encuentra la red son los siguientes:

- Área Urbana: 6%
- Área Rural: 4.5%

## 6.2 Topologías de las redes

Realizado el levantamiento de redes de baja tensión tanto en el sector urbano como rural de las regiones del país dentro del área de concesión de la empresa CENTROSUR, se realizó un análisis en cada una de ellas, enfatizando el análisis la topología, configuración y caracterización.

### 6.2.1 Red urbana

Por lo general, las redes que se encuentran en los sitios urbanos disponen de calles, por lo tanto, la configuración de las redes se realiza a través de ellas, con una topología radial, ya que, solo se mantiene una única dirección desde el centro de transformación hasta el final de cada uno de los ramales de la red, como se muestra en la **Figura 25**.



**Figura 25.** Análisis en red de baja tensión en el sector urbano.

*Fuente:* Autor.

## 6.2.2 Red rural

Se logró identificar una diferencia entre las redes rurales con respecto a las redes urbanas, es su geografía, la cual hace complicado una configuración que mantenga una similitud entre ellas, por lo que, en algunos casos la ubicación de las residencias se encuentra en lugares alejadas de vías, a causa de esto se repercute en la calidad de la energía y en algunos casos se atraviesan por terrenos de propiedad privada. Como se aprecia en la **Figura 26**, el centro de transformación se encuentra en la cima de la montaña, y uno de los ramales va desde la fuente hasta la falda de la montaña, generando una longitud larga de la red, por lo tanto, las redes rurales dependen mucho de la geografía en la que se encuentran.



**Figura 26.** Análisis en red de baja tensión en el sector rural.

*Fuente:* Autor

## 6.3 Evaluación del algoritmo

Para la evaluación del funcionamiento del algoritmo, se analiza la red existente expuesta en el área de estudio, para ejecutar el proceso se muestra la información a ingresar y se presenta los resultados por cada uno de los análisis que mantiene el algoritmo.

### 6.3.1 Dimensionamiento del transformador existente

Efectuando el proceso de análisis del transformador, considerando los datos pertinentes para este análisis del **Anexo 3**. El transformador existente no cumple con la potencia requerida como se observa en la **Tabla 15**.

**Tabla 15.** Análisis de dimensionamiento del transformador existente

*Fuente:* Autor

Resultado del dimensionamiento del transformador existente		
Transformador	Valor	Unidad
Transformador existente	75	kVA
Transformador calculado	153,194	kVA

Nota: El transformador existente no cumple con la potencia nominal



### 6.3.2 Caída de tensión en la red existente

Ingresando los datos descritos en el **Anexo 4** para la ejecución de este proceso. Se determinó que la red mantiene una caída de tensión superior a la permitida, como se observa en la **Tabla 16** solo se muestra los resultados del cálculo en un ramal, ya que, al no cumplir con los valores de caída de tensión permisibles, ya no es necesario realizar este cálculo en los ramales restantes, en este caso se debe realizar una reconfiguración de red.

**Tabla 16.** Resultados del análisis de caída de tensión en la red existente  
*Fuente:* Autor

Resultados de caída de tensión		
Ramal	Valor	Unidad
1	10,332	%
2	-	%
3	-	%
4	-	%
5	-	%

Nota: La caída de tensión supera el límite de 6%  
Se debe realizar una reconfiguración

### 6.3.3 Reconfiguración y caída de tensión en nuevas redes

Evaluada la caída de tensión en la red existente y verificar que no cumple con los valores límites de caída de tensión, se realizó una reconfiguración distribuyendo en tres redes con su respectiva configuración como se describe en el

**Anexo 5**, con la finalidad de obtener la distancia de cada uno de los postes con respecto al centro de masa de la red.

En la primera red se debe instalar el transformador en poste de la posición 3, por lo que, el poste de la posición 4 es un nodo, por lo tanto, se considera el consiguiente en este caso el poste 3 mantiene una distancia de 9.59 metros con respecto al centro de masa como se visualiza en la **Tabla 17**.

**Tabla 17.** Reconfiguración y ubicación del transformador en la red 1  
*Fuente:* Autor

Resultados de la reconfiguración de red 1		
Posición poste	Distancia	Unidad
2	37,24	m
3	9,59	m
4	9,09	m
5	23,98	m
6	29,95	m
7	11,28	m

8                      48,11                      m

En la segunda red se debe instalar al transformador en poste de la posición 9, en este caso al tratarse de un nodo se debe instalar en el siguiente poste que mantenga menor distancia con respecto al centro masa, refiriéndonos al poste 16 como se visualiza en la **Tabla 18**

**Tabla 18.** Resultados de la reconfiguración y ubicación del transformador en la red 2

*Fuente: Autor*

Resultados de la reconfiguración de red 2		
Posición poste	Distancia	Unidad
2	42,37	m
1	9,53	m
9	6,81	m
10	31,53	m
11	36,63	m
16	7,7	m
17	49,78	m

En la tercera red, el poste ideal para la instalación del transformador es poste de la posición 13, ya que, mantiene una distancia de 1.80 metros con respecto al centro masa, véase **Tabla 19.**

**Tabla 19.** Resultados de la reconfiguración y ubicación del transformador en la red 3

*Fuente: Autor*

Resultados de la reconfiguración de red 3		
Posición poste	Distancia	Unidad
11	84,59	m
12	38,51	m
13	1,8	m
14	40,71	m
15	84,18	m

Una vez descrito la ubicación ideal de cada una de las redes reconfiguradas, se procede a exponer el análisis de caída de tensión en cada una ellas, considerando la información descrita en el

**Anexo 6.** A continuación, se detalla los resultados obtenidos en el algoritmo.

En la configuración establecida con el centro de transformación ubicado en el punto antes calculado, la red cumple con los valores de caída de tensión en cada uno de los ramales, véase **Tabla 20**.

**Tabla 20.** Resultados de caída de tensión en las redes reconfiguradas

*Fuente: Autor*

Resultados de la caída de tensión en las redes reconfiguradas								
Red 1			Red 2			Red 3		
Ramal	Valor	Unidad	Ramal	Valor	Unidad	Ramal	Valor	Unidad
1	0,2885	%	1	1,9895	%	1	3,54	%
2	1,2461	%	2	2,1597	%	2	3,55	%
3	1,0951	%	3	3,2876	%	-		
4	3,0707	%	4	1,12	%	-		

#### 6.3.4 Extensión de media tensión

Verificado las caídas de tensión en cada una de las nuevas redes, se procedió a realizar el análisis estructural de los postes que van a sostener media tensión ingresando la información mostrada en el **Anexo 4**, dando como resultado lo expuesto en la **Tabla 21**.

**Tabla 21.** Resultados de extensión de media tensión

*Fuente: Autor*

Resultados de extensión de media tensión		
Posición poste	Altura	Unidad
2	11	m
3	11	m
16	9	m

Nota: Los postes para extensión de red deben ser reemplazados por postes de 12 metros

#### 6.3.5 Dimensionamiento de nuevo transformador

Se realiza el cálculo de nuevos transformadores para las redes reconfiguradas ingresando la información de cada red descrita en el

**Anexo 7**, dando como resultado:

**Tabla 22.** Resultado del dimensionamiento del transformador nuevo

*Fuente: Autor*

Resultado del dimensionamiento del transformador nuevo		
Transformador	Valor	Unidad

---

Transformador nuevo red 1	58.586	kVA
Transformador nuevo red 2	60.932	kVA
Transformador nuevo red 3	51.101	kVA

---

Nota: EL calibre mínimo del conductor de acuerdo a las potencias nominal calculada es 1/0 ACSR

## 7 Discusión

El levantamiento de información relevante acerca de los sistemas de distribución aéreas de baja tensión, se realizó mediante la búsqueda en sitios web, artículos, libros, etcétera, con la finalidad de obtener información, acerca de configuración, condicionamientos técnicos-estructurales y procesos para la evaluación de estas redes, en lo resultados se evidencia que la hipótesis es verdadera, logrando cumplir con el objetivo propuesto obteniendo toda la información pertinente para el desarrollo del trabajo, con el inconveniente de que al tratarse de una empresa distinguida de distribución de energía, existía la probabilidad que la misma mantenga una normativa interna que abarque parte de los puntos antes mencionados, por lo que, la empresa para diseños de redes secundarias aéreas, se basa en la normativa del ex Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) (Salao et al., n.d.) y el trabajo de titulación “NORMAS TÉCNICAS PARA EL DISEÑO Y EXPANSIÓN DE LAS REDES SECUNDARIAS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A.” (Domínguez & Molina, 2011), por lo tanto, el presente trabajo está basado en las condiciones y procesos que dictan las normativas mencionadas.

Los archivos internos de la empresa en el software AUTOCAD®, brindan información de los elementos de las redes existentes e ingresarlos en el Geovisor y obtener sus coordenadas de ubicación para poder realizar el levantamiento en Google Earth, en este caso la lógica del algoritmo a desarrollar, era en base a la existencia de una configuración topológica estándar entre redes, considerando la resolución de la ARCONEL 020 que dicta, que la redes de distribución deben ser construidas a través de calles, pero en el sector rural se pudo detectar redes que atraviesan terrenos privados incumpliendo lo antes mencionado, por tal razón, se replanteó una formulación idónea para la optimización de las redes.

El algoritmo realiza la optimización de redes existentes en toda el área de concesión de la empresa CENTROSUR, otorgando soluciones al usuario para lograr con su objetivo, en caso de ser necesaria una optimización, el programa demuestra la configuración más apta de acuerdo a sus condiciones y procesos, pero en este caso, la decisión final es del usuario, si se considera aspectos tanto económicos como técnicos. Este trabajo no mantiene similitud con otros estudios, por lo que, su objetivo es reutilizar los elementos existentes con la finalidad de disminuir los costos y cumplir con la caída de tensión, la mayoría de estudios realizados trata de diseños nuevos de redes de baja tensión, por lo tanto, se ha planteado un análisis económico superficial, considerando la reposición de todos los elementos de la red con respecto al implementación de la solución propuesta por el algoritmo. Analizando los *Anexo 8* y *Anexo 9*

se puede apreciar que hay una de relación 3:1 respectivamente entre las dos propuestas del análisis económico, siendo así la solución del algoritmo viable en cuanto aspectos económicos como técnicos.

## 8 Conclusiones

- La recopilación de información, permitió obtener procesos, restricciones y sugerencias para la evaluación técnica-estructural de redes de distribución aéreas existentes en el área de concesión de la empresa CENTROSUR. Además, se obtuvo información acerca de las diferentes configuraciones que puede mantener una red con su respectiva FDV, sus componentes de acuerdo a la normativa interna y homologación planteada por el ministerio de energía. Además, enfatizando en los porcentajes de caída de tensión permisibles en el área urbana (6%) y en el área rural (4.5%).
- Las redes ubicadas en el sector rural por la diferencia palpable en su configuración topológica, debido a la geografía, falta de vías, etcétera, no permitieron la elaboración del algoritmo con la consideración de una configuración estándar, por lo tanto, se consideró para el análisis de caída de tensión, teniendo en cuanto la singularidad de la topología radial que solo mantiene un solo sentido de la corriente, realizar por ramales desde el centro de transformación hasta el final del mismo.
- El algoritmo evalúa las redes existentes en el área de concesión referente a la empresa CENTROSUR, el análisis trata en verificar si el centro de transformación existente cumple con la potencia requerida, el cálculo de caída de tensión considerando los porcentajes admisibles, en caso de sobrepasar los límites, se procede a la reconfiguración obteniendo la ubicación apta para nuevos transformadores y reevalúa la caída de tensión en las nuevas redes, en caso de obtener resultados favorables, se debe realizar el cálculo de la potencia de los nuevos equipos de transformación y finalmente evaluar la condición estructural para extensión de media tensión a estos equipos.
- En la evaluación de la red existente, el algoritmo indica que las nuevas redes se debe aplicar transformadores, con potencias superiores a 60kVA, por lo tanto, se puede hacer uso del transformador existente, ya que, el mismo mantiene una potencia de 75kVA, por otro lado, en la red reconfigurada 2, el algoritmo indica que el lugar apto para la ubicación del centro de transformación es el poste 16, por lo tanto, se debe realizar extensión de media tensión hasta este punto, para evitar esta extensión se puede considerar el poste 1, el cual mantiene una pequeña distancia con respecto al centro de masa, sin mucha diferencia a la del poste 16, además mantiene línea de alta tensión, generando un ahorro de gastos en extensión y cambio de poste, con esto se demuestra que la solución otorgada por el algoritmo no es la única, sino que la información que

proporciona, permite al usuario configurar la red de manera de disminuir gastos y cumplir con la caída de tensión.

- En conclusión, el análisis económico entre la reposición de toda la red, solución brindada en caso de realizar un nuevo diseño de la red y la solución generada por el algoritmo se puede evidenciar que, al realizar el cambio de todos los elementos de la red, es necesario invertir una suma de \$19.968,03 dólares americanos, por otro lado, la instalación de dos nuevos transformadores y separación de circuitos aborda un valor \$8.286,42 dólares americanos, se puede apreciar una relación de 3:1 respectivamente, por lo tanto, la reconfiguración de la red es la propuesta viable a aplicar a la red en estudio.



## 9 Recomendaciones

- Para el cálculo de la demanda unitaria se podría cambiar la consideración de las cocinas de inducción, debido que en gobiernos anteriores, la implementación de esta tecnología iba realizar de manera obligatoria, con la finalidad de disminuir el consumo de hidrocarburos, pero actualmente es visible que solo las personas que desean aplican esta tecnología, al considerar la cocción a inducción los valores de DMUp se sobrecarga y con ello los elementos como transformadores, protecciones y la caída de tensión.
- En caso de realizar la aplicación el algoritmo en otra área de concesión de una cierta empresa eléctrica de distribución, se debe realizar cambios en cuanto al cálculo de la demanda unitaria y los límites de caída tensión, con esto el algoritmo puede realizar la optimización de redes existentes de baja tensión en cualquier parte del país.
- Una vez realizado el algoritmo, se puede hacer un aplicativo del mismo con la finalidad de obtener una interfaz más amigable con el usuario, en cuanto al ingreso de información de datos y la obtención de resultados. Por otro lado, se puede hacer la implementación de la base de datos de los costos de los materiales y precio de mano de obra de instalación, con ello el usuario obtiene información técnica y económico de los trabajos a realizar en la red rediseñada.
- Se puede realizar el cálculo de la caída de tensión considerando una red estándar, esto solo es apto para las redes urbanas por la similitud entre ellas al situarse a través de calles, por lo tanto, se puede crear la configuración de una red basado en un análisis estadístico de sus características y poder realizar la evaluación.

## 10 Bibliografía

- Armijos, A., & Suquilanda, C. (2011). *Rediseño de la Red de Distribución Eléctrica y Alumbrado Público para las Calles Regeneradas de Saraguro*.
- Campoverde, D., & Sánchez, J. (2012). *DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA EN TRANSFORMADORES, PARA LOS SERVICIOS DE COMERCIALIZACIÓN EN BASE A LOS USOS DE ENERGÍA, EN LA EMPRESA ELECTRICA REGIONAL CENTROSUR PARA LA CIUDAD DE CUENCA*. Universidad de Cuenca.
- Cano, E., & Castaño, S. (2006). *Calidad del servicio de energía eléctrica*. Universidad Nacional de Colombia. <https://doi.org/10.13140/2.1.1678.3688>
- Carpio, D., & Marín, D. (2017). *INSTRUCTIVO PARA LA ELABORACIÓN DE DISEÑOS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN E INSTALACIONES INTERIORES APLICABLES EN LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A.*
- Castaño, S. (2012). *Redes de Distribución de Energía* (Tercera). Universidad Nacional de Loja.
- CENTROSUR. (2018). *Hoja técnica CENTROSUR*.
- Conejo, A., Arroyo, J., Milano, F., Conde, N., Polo, J., Bertrand, R., Sanz, J., Sánchez, A., & López, L. (2007). *INSTALACIONES ELÉCTRICAS* (C. Sánchez, Ed.). McGRAW.
- Domínguez, E., & Molina, M. (2011). *NORMAS TÉCNICAS PARA DISEÑO Y EXPANSIÓN DE LAS REDES SECUNDARIAS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A.*
- EMELNORTE. (2016). *ADECUACION DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE EMELNORTE, DIMENSIONAMIENTO DE TRANSFORMADORES Y MÉTODO DE CÁLCULO DECAÍDAS DE VOLTAJE EN REDES SECUNDARIAS DE DISTRIBUCIÓN*.
- Farinango, M. (2001). *Diseño Gráfico de Redes Eléctricas de Distribución en Urbanizaciones*.
- García, J. (2003). *Instalaciones eléctricas en media y baja tensión* (Tercera). Paraninfo.
- LyRec. (n.d.). *Construcción de redes aéreas y subterráneas*. Retrieved October 20, 2022, from <https://lyrecriobamba.com/servicios/>
- Naranjo, A. (2008). *Proyecto del Sistema de Distribución Eléctrico*. Equinoccio.
- Paredes, J. (2021). *Reconfiguración de Redes de Distribución Eléctrica para la Minimización de Perdidas de Potencia Activa*.
- Pino, I. (2016). *Análisis del flujo de cargas en redes de baja tensión a cuatro hilos*. <http://www.ree.es>
- Pinterest. (n.d.). *Redes Subterráneas para Media Tensión*. Retrieved October 20, 2022, from <https://ar.pinterest.com/pin/246853623310313544/>

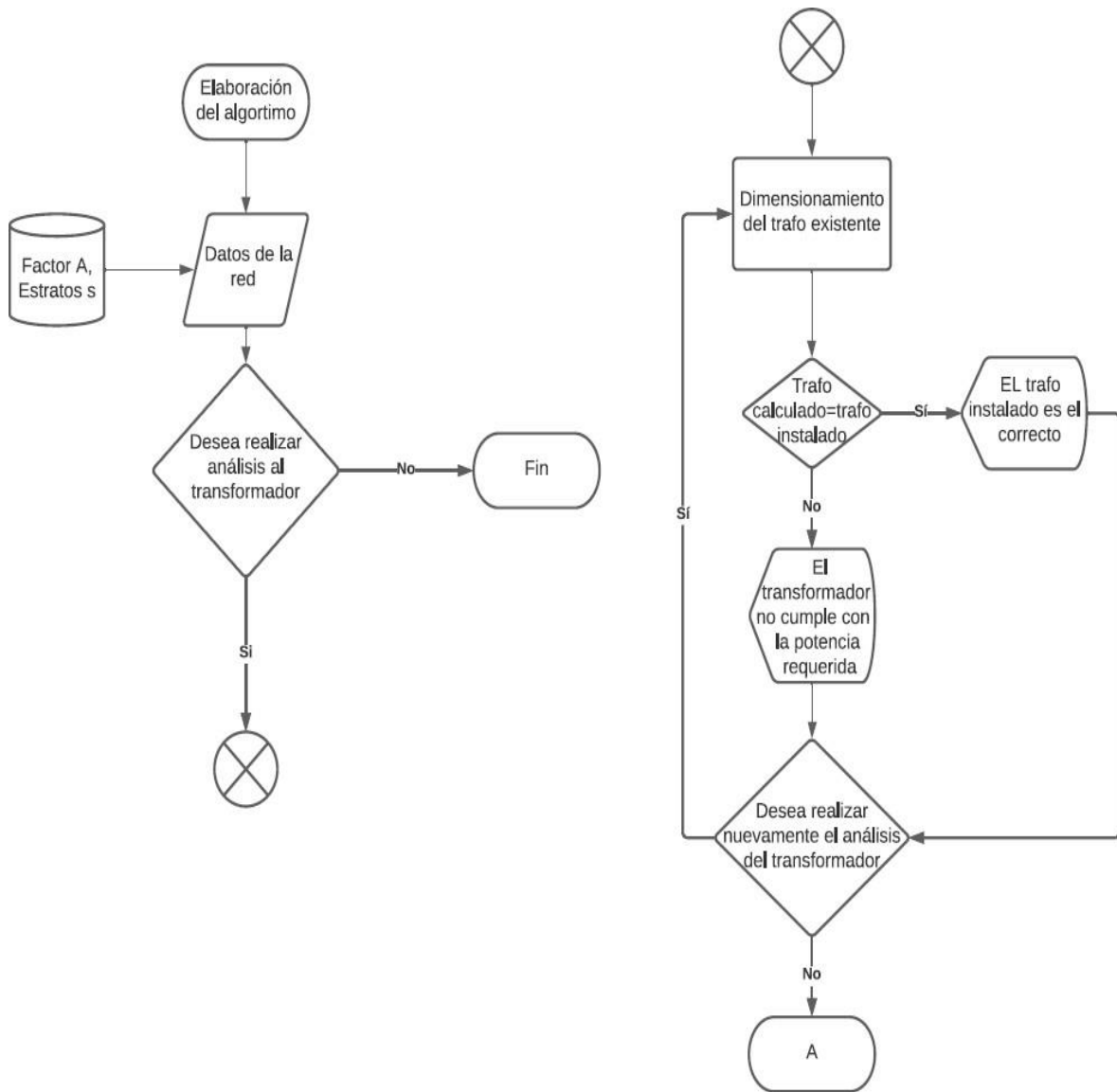
- RTE-Mexico. (2020, August 12). *Transformadores de Distribución*.  
<https://rte.mx/transformadores-de-distribucion-electrica>
- Salao, M., Sosa, M., Gallardo, R., Barroso, J., Idrovo, J., Guillen, O., Abad e, R., Guadalupe, S., Zamora, H., & Molina, C. (n.d.). *Homologaci3n de las unidades de propiedad (UP) en sistemas de distribuci3n de energía eléctrica*.
- Yebra, J. (2009). *Sistemas Eléctricos de Distribuci3n : Vol. (Primera)*. REVERT E.

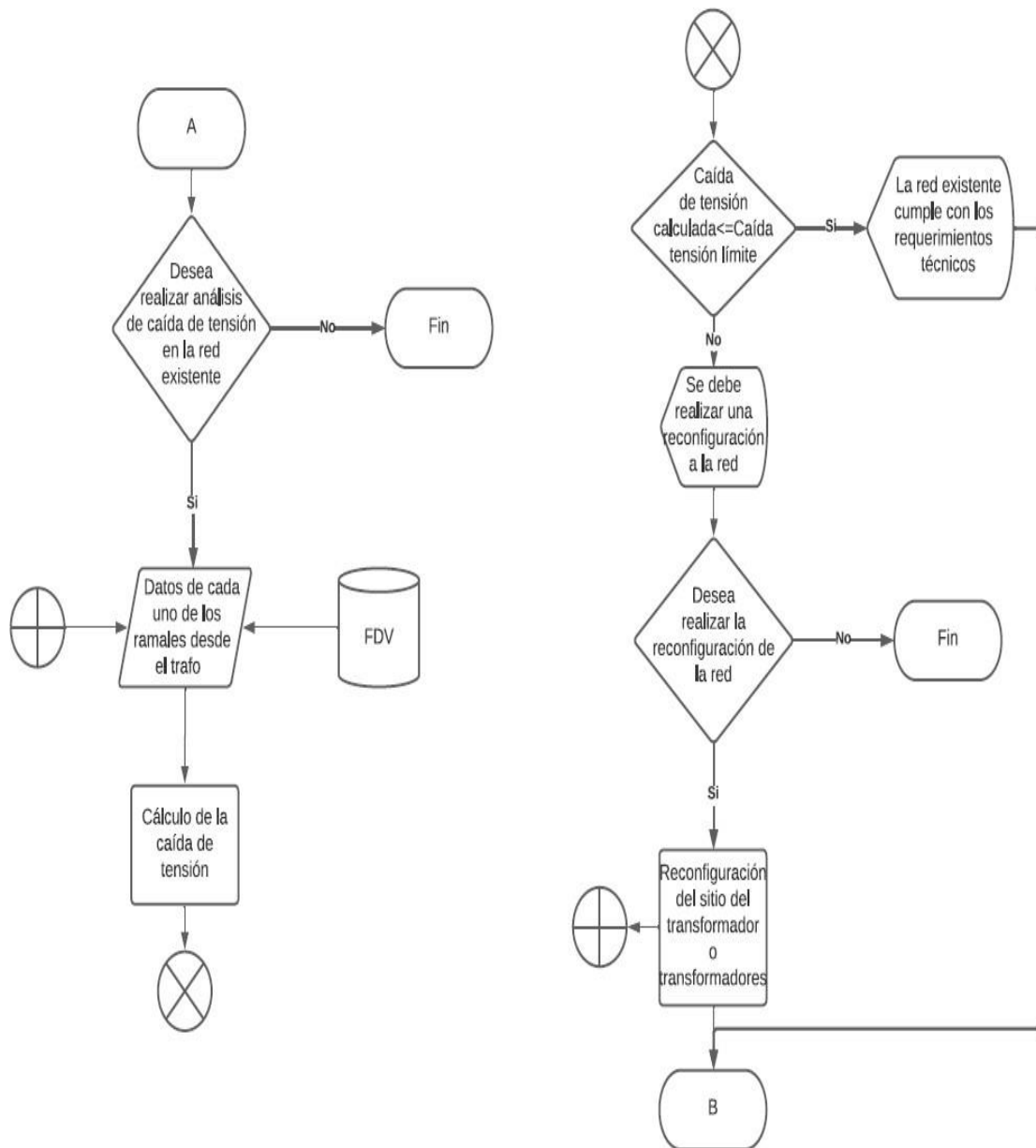
## Anexo 1. Valores FDV en red monofásica-trifásica

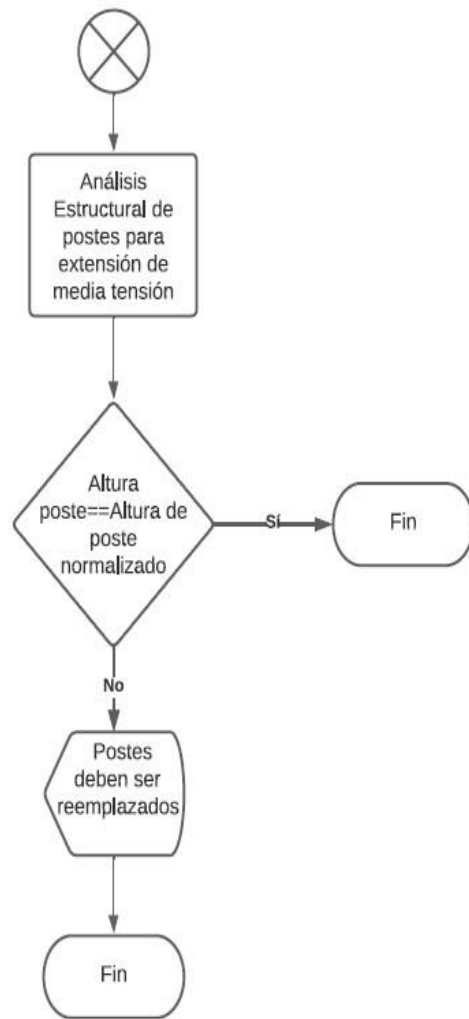
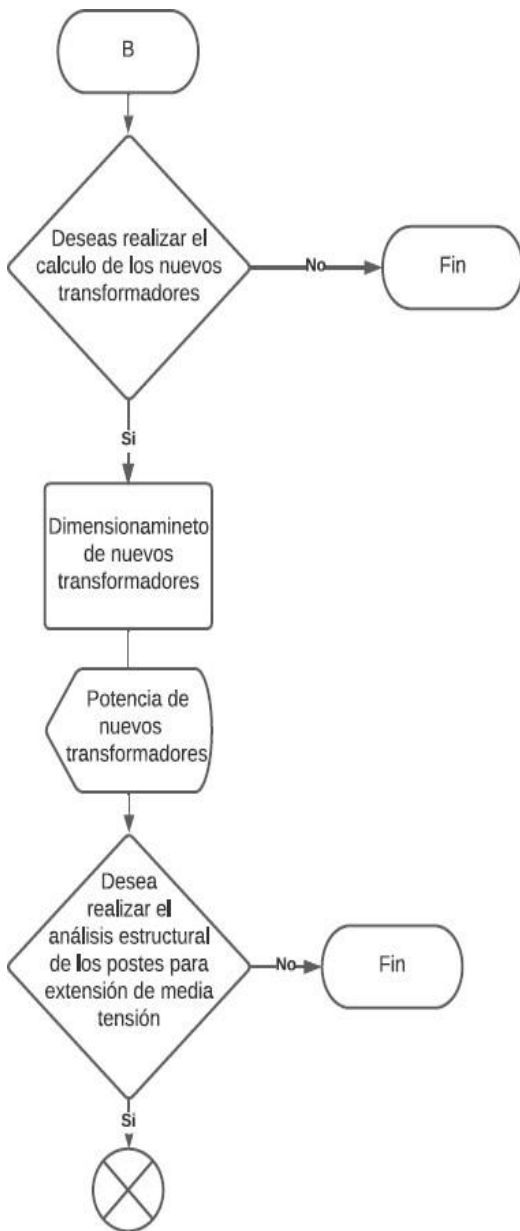
<b>FDV</b>				
<b>Red Monofásica</b>				
<b>Calibre</b>	<b>1F2C</b>	<b>2F3C</b>	<b>2F2C</b>	
4	48	192	192	
2	71	286	286	
1/0	86	346	346	
2/0	104	416	416	
3/0	125	498	498	
4/0	149	597	597	
<b>Red Trifásica</b>				
<b>Calibre</b>	<b>1F2C</b>	<b>2F3C</b>	<b>2F2C</b>	<b>3F4C</b>
4	54	215	215	323
2	80	320	320	480
1/0	97	387	387	581
2/0	117	466	466	699
3/0	140	558	558	837
4/0	167	669	669	1003

Anexo 2. Flujograma del algoritmo

Fuente: Autor







**Anexo 3.** Datos de red para dimensionamiento de transformador*Fuente:* Autor

Dimensionamiento de transformador		
Datos de la Red		
Variable	Valor	Unidad
Tipo Trafo	Existente	-
Ubicación (sector)	Urbana	-
Estrato	C	-
Tipo Red	Trifásica	-
Potencia Trafo	75	kVA
Usuarios	140	abonados
Tipo Luminaria	1	tipo
Potencia Luminaria	250	W
Luminaria	14	unidades



Anexo 4. .Datos pertinentes para caída de tensión en la red existente

*Fuente:* Autor

Caída de tensión					
Datos de la red					
Posición de Poste	Coordenada X	Coordenada Y	Usuarios	Luminaria	Altura
1	747114,206	9680418			12
2	747080,201	9680419,25	60	5	11
3	747046,794	9680421,1	47	4	11
4	747039,638	9680422,89	42	3	0
5	747037,818	9680407,48	9	1	9
6	747015,772	9680422,64	3	1	11
7	747042,657	9680441,55	30	1	9
8	747049,889	9680478,28	8	0	9
9	747125,539	9680416,8	69	8	0
10	747122,506	9680391,32	9	1	9
11	747157,75	9680413,17	45	5	11
12	747203,683	9680409,53	32	4	11
13	747240,25	9680406,26	29	3	12
14	747282,603	9680402,62	19	2	11
15	747325,971	9680399,57	6	1	11
16	747126,519	9680429,36	15	2	9
17	747130,182	9680472,02	8	1	9

Anexo 5. Datos de reconfiguración de red

*Fuente:* Autor

Reconfiguración de red		
Posición del poste		
Red 1	Red 2	Red 3
2	2	11
3	1	12
4	9	13
5	10	14
6	11	15
7	16	
8	17	

**Anexo 6.** Datos de caída de tensión*Fuente:* Autor

Caída de tensión								
Red 1			Red 2			Red 3		
Posición de Poste	Usuarios	Luminaria	Posición de Poste	Usuarios	Luminaria	Posición de Poste	Usuarios	Luminaria
3	Transformador		16	Transformador		13	Transformador	
2	2	0	17	8	1	12	11	2
4	42	3	9	36	3	11	8	1
5	9	1	1	22	2	14	22	2
6	3	1	2	11	1	15	6	1
7	30	1	10	9	1			
8	6	0	11	5	1			

**Anexo 7.** Datos de dimensionamiento nuevo de transformador*Fuente:* Autor

Dimensionamiento de transformador						
Red	Red 1		Red 2		Red 3	
Variable	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Tipo Trafo	Nuevo	-	Nuevo	-	Nuevo	-
Ubicación (sector)	Urbana	-	Urbana	-	Urbana	-
Estrato	C	-	C	-	C	-
Tipo Red	Trifásica	-	Trifásica	-	Trifásica	-
Usuarios	49	abonados	51	abonados	40	abonados
Tipo Luminaria	1	tipo	1	tipo	1	tipo
Potencia Luminaria	250	W	250	W	250	W
Luminaria	4	unidades	5	unidades	5	unidades

**Anexo 8.** Análisis económico de la reposición de todos lo elementos de la red

**PROFORMA**

**Cliente:** \_\_\_\_\_ **Numero de proforma:** \_\_\_\_\_  
**Dirección:** \_\_\_\_\_ **Fecha de emisión:** \_\_\_\_\_  
**Ciudad:** \_\_\_\_\_ **Fecha de vigencia:** \_\_\_\_\_  
**RUC:** \_\_\_\_\_ **Forma de pago:** \_\_\_\_\_  
**Telefono:** \_\_\_\_\_  
**Objeto de compra:** REPOSICION DE TODOS LOS ELEMENTOS DE LA RED

ITEM	DESCRIPCION	Unidad	Cantidad	V. UNIT	SUBTOTAL
1	INSTALACIÓN NUEVA DE LA RED EN SU TOTALIDAD	Poste	16	1.200,00	19.200,00
2	DESMONTAJE TRANSFORMADOR DE 75 KVA	Unidad	1	58,00	58,00
3	MONTAJE DE TRANSFORMADOR DE 75 KVA	Unidad	2	232,14	464,28
4	DESMONTAJE DE CABLE ACSR 1/0 Y ESTRUCTURAS EXISTENTES	Global	1	245,75	245,75
<b>SUB TOTAL</b>					<b>19.968,03</b>
12%					2396,1636
<b>TOTAL, CON IVA</b>					<b>22.364,19</b>

**Anexo 9.** Análisis económico de la instalación de dos transformadores y separación de circuitos.

**PROFORMA**

**Cliete:** **Numero de proforma:**  
**Direccion:** **Fecha de emisión:**  
**Ciudad:** **Fecha de vigencia:**  
**RUC:** **Forma de pago:**  
**Telefono:**  
**Objeto de compra:** INTALACIÓN DE DOS NUEVOS TRANSFORMCION Y SEPARACIÓN DE CIRCUITOS

ITEM	DESCRIPCION	Unidad	Cantidad	V. UNIT	SUBTOTAL
1	TRANSFORMADORES 3F CAPACIDAD DE 60 KVA	Unidad	2	1.966,00	3.932,00
2	DESMONTAJE TRANSFORMADOR DE 75 KVA	Unidad	1	58,00	58,00
3	MONTAJE DE TRANSFORMADOR	Unidad	3	232,14	696,42
4	CAMBIO DE POSTE PARA EXTENSION DE RED DE MEDIA TENSIÓN	Global	3	1.200,00	3.600,00
<b>SUB TOTAL</b>					<b>8.286,42</b>
12%					994,3704
<b>TOTAL, CON IVA</b>					<b>9.280,79</b>

Anexo 10. Certificado de traducción del resumen de trabajo de titulación.



Loja, 18 de septiembre de 2023

Yo, Dhayson Esaú Tapia Bravo, con número de cédula **1104346349**, **MAGISTER EN EDUCACIÓN, MENCIÓN EN INNOVACIÓN Y LIDERAZGO EDUCATIVO** y **LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN, MENCIÓN INGLÉS**.

**CERTIFICO:**

Haber realizado la traducción textual del resumen, correspondiente al trabajo de integración curricular denominado: **Algoritmo de optimización en redes de distribución aérea de baja tensión, caso de análisis EMPRESA ELÉCTRICA CENTRO SUR C.A** elaborado por el señor **DAVID ANDRES SANCHEZ CUEVA**, con número de cédula **1105711277**.

Es todo lo que puedo certificar en honor a la verdad, facultando al portador el presente documento para el trámite correspondiente.

Atentamente.

  
.....  
**Mgtr. Dhayson Esaú Tapia Bravo**  
**PROMOTOR ACADÉMICO - DIRECTOR ACADÉMICO**  
REGISTRO SENESCYT: 1031-2023-2649446  
REGISTRO SENESCYT: 1031-2022-2463644



boostenglishec@gmail.com

Cariamanga, Loja, Ecuador