

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD**

**TEMA:**

“Estudio y coordinación de protecciones para un sistema de distribución con enfoque al alimentador Progreso del cantón Baba provincia de Los Ríos”

**AUTOR:**

Tnlgo. Zúñiga Hurtado, Edgar Ansaldo.

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

**TUTOR:**

Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael, MSc

**Guayaquil, Ecuador**

**14 de febrero del 2024**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **el Tnlg. Edgar Ansaldo Zuñiga Hurtado**, como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN ELECTRICIDAD**.

### **TUTOR**

---

Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael, MSc.

### **DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar, PhD.

**Guayaquil, a los 14 del mes de febrero del año 2024**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACION TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Zuñiga Hurtado, Edgar Ansaldo.

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Estudio y coordinación de protecciones para un sistema de distribución con enfoque al alimentador Progreso del cantón Baba provincia de Los Ríos**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electricidad**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías.

Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría, en virtud de esta declaración me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de titulación referido.

**Guayaquil, a los 14 del mes de febrero del año 2024**

**EL AUTOR**

---

**Tnlgo. Zuñiga Hurtado, Edgar Ansaldo**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACION TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Zuñiga Hurtado, Edgar Ansaldo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Estudio y coordinación de protecciones para un sistema de distribución con enfoque al alimentador Progreso del cantón Baba provincia de Los Ríos**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 14 del mes de febrero del año 2024**

**EL AUTOR:**

---

**Tnlgo. Zuñiga hurtado, Edgar Ansaldo**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACION TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD

CERTIFICADO COMPILATIO

La Dirección de las Carreras Telecomunicaciones, Electricidad y Electrónica y Automatización revisó el Trabajo de Integración Curricular, **Estudio y coordinación de protecciones para un sistema de distribución con enfoque al alimentador Progreso del cantón Baba provincia de Los Ríos**, presentado por el estudiante **Zuñiga Hurtado Edgar Ansaldo**, de la carrera de **Ingeniería en Electricidad**, donde obtuvo del programa COMPILATIO, el valor de **4 %** de coincidencias, considerando ser aprobada por esta dirección.

The screenshot shows the COMPILATIO analysis interface. At the top, it identifies the document as 'TESIS SR. EDGAR ZUÑIGA 2' and provides metadata such as the author's name, email, and the number of words (15,473). Below this, a progress bar indicates the analysis status. The main section is divided into two tables: 'Fuentes principales detectadas' and 'Fuentes con similitudes fortísimas'. Each table lists sources with their descriptions, similarity percentages, and the number of words that match. The 'Fuentes principales detectadas' table includes sources like 'Proyecto de Examen Complementario - 1981-1982' and 'Trabajo CARLOS MORALES JARA'. The 'Fuentes con similitudes fortísimas' table lists sources like 'wanda.com.ec' and 'diputados.com.ec'. At the bottom, there is a section for 'Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)' with a list of URLs.

Ing. Jaime Rafael Hidalgo Aguilar, MSc  
Revisor - COMPILATIO

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco siempre por sobre todas las cosas, a Dios por la vida, la salud, la familia y el trabajo ya que sin su divina misericordia, no hubiese sido posible llegar a este punto de mi vida y alcanzar el objetivo de la culminación de esta importante etapa estudiantil.

Quiero extender mi agradecimiento a mis padres el Lcdo. Edgar Zuñiga Fuentes y la Abg. Narcisca de Jesus Hurtado Macias, quienes me ayudaron a forjarme en la vida como una persona de bien, con objetivos y metas que cumplir abrazado al poder divino de Dios.

Agradezco a mis hermanos, la Dra Cory Zuñiga Hurtado, el Abg. Paul Zuñiga Hurtado y el Lcdo. Fernando Zuñiga Hurtado quienes siempre estuvieron pendientes de mi avance, quienes nunca me negaron la mano cálida y bondadosa de un buen hermano para apoyarme a seguir avanzando hacia mi objetivo hasta cumplirlo.

Y finalmente a mi tutor, el Msc. Jaime Rafael Hidalgo Aguilar, sin duda alguna uno de los excelentes catedráticos de esta Alma Mater, quien me orientó siempre con sus consejos y no se guardó nada cuando estaba en la búsqueda de más conocimiento, sin duda alguna lo considero una eminencia; gracias infinitas a todos los catedráticos por impartir sus conocimientos, que me permitieron cumplir esta meta, la de terminar mi carrera y ser Ingeniero Eléctrico de la República del Ecuador.

**Tnlgo. Edgar Ansaldo Zuñiga Hurtado.**

## **DEDICATORIA.**

Dedico este trabajo de titulación, en primer lugar, a Dios por darme fortaleza, sabiduría y entendimiento a lo largo de mi preparación académica de instrucción superior. En segundo lugar, a mi familia por toda la ayuda y sacrificio necesario, para conseguir mis metas, a mi compañera de vida la Msc. Katherine. Padilla y a mis hijos por ser mi mayor inspiración de superación y determinación, mi motor de impulso al éxito. En tercer lugar, extendiendo esta dedicatoria a la Lcda. Gigi Castillo por su apoyo en los momentos de flaqueza sus palabras me motivaban a salir adelante, al Ing. Byron Almeida, al Sr Carlos Ramos, Carlos Moran y a mi querida Lcda. Noemi Ortiz a ellos también va dedicado este trabajo ya que sus consejos y apoyo fueron determinantes en la consecución de mis objetivos académicos.

**Tnlgo. Edgar Zúñiga Hurtado.**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**  
**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**ING. CELSO BAYARDO BOHORQUEZ ESCOBAR, PhD.**  
DIRECTOR DE CARRERA

---

**ING. RICARDO XAVIER UBILLA GONZALEZ, MSc.**  
COORDINADOR DEL ÁREA

---

**ING. LUIS EZEQUIEL PALAU DE LA ROSA. MSc.**  
OPONENTE

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL .....	IX
ÍNDICE TABLAS .....	XIV
ÍNDICE DE GRAFICOS .....	XV
ABSTRACT .....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPITULO I.....	3
1. GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACION.....	3
1.1. Justificación. ....	3
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo General.....	4
1.2.2. Objetivos Específicos.....	4
1.3. Alcance del proyecto.....	4
CAPITULO II.....	6
2. MARCO TEORICO .....	6
2.1. Sistema de potencia.....	6
2.2. Sistema de distribución. ....	6
2.3. Estructura del sistema de distribución.....	7
2.3.1. Estructura de red tipo radial.....	8
2.3.2. Estructura de red tipo malla. ....	8

2.3.3.	Estructura de red tipo anillo. ....	9
2.4.	Redes de distribución de energía eléctrica.....	10
2.4.1.	Red de distribución tipo rural. ....	10
2.4.2.	Red de distribución urbana. ....	11
2.4.3.	Red de distribución industrial. ....	12
2.4.4.	Rendimiento del sistema de distribución. ....	13
2.5.	Fallas en los sistemas eléctricos de distribución. ....	13
2.5.1.	Consecuencias de las fallas.....	14
2.5.2.	Clasificación de las fallas eléctricas. ....	14
2.5.2.1.	<i>Fallas francas.</i> ....	14
2.5.2.2.	<i>Fallas no francas.</i> ....	15
2.5.2.3.	<i>Fallas temporales.</i> ....	15
2.5.2.4.	<i>Fallas permanentes.</i> ....	16
2.5.3.	Fallas simétricas. ....	16
2.5.4.	<i>Fallas asimétricas.</i> ....	17
2.5.4.1.	<i>Falla fase a tierra.</i> ....	17
2.5.4.2.	<i>Falla de fase a fase.</i> ....	18
2.5.4.3.	<i>Falla de fase a fase y tierra.</i> ....	18
2.6.	Esquemas de las fallas. ....	18
2.7.	Análisis de las componentes simétricas. ....	19
2.7.1.	Técnica para el cálculo de las componentes simétricas.....	20
2.8.	Cargas eléctricas del sistema de distribución.....	20

2.9.	Tipos de cargas.....	21
2.9.1.	Cargas lineales.....	21
2.9.1.1.	<i>Cargas trifásicas</i> .....	22
2.9.1.2.	<i>Cargas sensibles</i> .....	22
2.9.1.3.	<i>Cargas no lineales</i> .....	22
2.10.	Flujo de potencia.....	23
2.11.	Flujo de potencia en una red eléctrica.....	23
2.12.	Flujo de carga.....	24
2.13.	Estudio de flujo de carga.....	24
2.14.	Problema de flujo de carga.....	25
2.14.1	Procedimiento recurrente Gauss Seidel.....	25
2.14.2	Procedimiento Newton Raphson.....	26
2.15	Flujo de carga armónico.....	28
2.15.1	Distorsión armónica en el sistema de distribución.....	28
2.16	Norma IEEE-519-2022.....	29
2.17	Potencia reactiva en el sistema.....	29
2.18	Efecto de la compensación de potencia reactiva.....	30
2.19	Impedancia.....	31
2.20	Impedancia de la fuente.....	32
2.20.1	Método 1.....	32
2.20.2	Método 2.....	33
2.20.3	Método 3.....	33

2.21	Estudio de la corriente de corto circuito. ....	34
2.22	Interpretación y estudio de corto circuito en el sistema. ....	35
2.23	Intensidades de corriente eléctrica peligrosas de corto circuito.....	36
2.24	Fallas que se generan por las corrientes de corto circuito. ....	37
2.24.1	Métodos para disminuir las corrientes de corto circuito. ....	37
2.25	Cálculo de la corriente de corto circuito. ....	38
2.25.1	Procedimiento para el cálculo de corrientes de corto circuito. ....	39
2.25.2	Ecuaciones para el cálculo de corto circuito. ....	40
2.26	Protecciones del sistema eléctrico de distribución. ....	41
2.26.1	Protecciones eléctricas primarias. ....	41
2.26.2	Protecciones eléctricas de respaldo. ....	42
2.27	Reconectores.....	42
2.27.1	Características técnicas de los Reconectores. ....	43
2.27.2	Secuencia de operación. ....	44
2.27.3	Curvas IEEE C37.112.....	45
2.28.	Detección de arranque en frío.....	47
2.29.	Restricto de Corrientes de inrush.....	48
2.30.	SECCIONALIZADORES Y FUSIBLES.....	48
2.30.1	Seccionalizadores con control hidráulico .....	49
2.30.2.	Seccionalizadores con control electrónico .....	50
2.30.3.	Fusibles de expulsión .....	52
	CAPITULO III.....	53

ANALISIS Y DESARROLLO .....	53
3.1 Ingreso y creación de base de datos en software CYME 9.1 .....	53
3.2 Ubicación de los equipos de reconexión. ....	54
3.3 Distribución de carga en CYMDIST 9.1.....	56
3.4. Análisis de flujo de carga con CYMDIST 9.1. ....	57
3.5. Estudio de protecciones.....	58
3.5.1. Datos Para el estudio.....	58
3.5.2. Estado actual de la coordinación de protecciones. ....	59
3.6. Mejoras en el sistema. ....	60
3.6.1. Estudio de cortocircuito.....	61
3.7. Criterios de coordinación de protección de Sobre corriente. ....	61
3.7.1. Coordinación Fusible-Fusible.....	61
3.7.2. Coordinación reconectador – Fusible.....	62
CAPITULO IV .....	66
4.1. CONCLUSIONES .....	66
4.2. RECOMENDACIONES.....	66
CAPITULO V .....	67
5.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	67
ANEXOS .....	72

## ÍNDICE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Datos de los ramales o derivaciones.....	24
<b>Tabla 2.</b> Datos de flujo de carga con software IPFLOW2.1 .....	25
<b>Tabla 3.</b> Datos de ecuación método Gauss-Seidel.....	25
<b>Tabla 4.</b> Límites de distorsión para corrientes en el sistema. ....	29
<b>Tabla 5.</b> Variación de capacidad del banco de capacitores. ....	31

## ÍNDICE DE GRAFICOS

<b>Gráfica 1.</b> Sistema de distribución de energía eléctrica. ....	6
<b>Gráfica 2.</b> Sistema de distribución con alimentadores. ....	7
<b>Gráfica 3.</b> Sistema de distribución estructura radial. ....	8
<b>Gráfica 4.</b> Sistema de distribución estructura malla. ....	9
<b>Gráfica 5.</b> Sistema de distribución estructura anillo. ....	10
<b>Gráfica 6.</b> Diagrama de redes de distribución rurales. ....	11
Gráfica 7. Diagrama de distribución de redes urbanas. ....	12
Gráfica 8. Diagrama de distribución de redes Industriales. ....	13
<b>Gráfica 9.</b> Diagrama de representación de una falla eléctrica. ....	16
Gráfica 10. Esquema de falla fase a tierra. ....	18
<b>Gráfica 11.</b> Esquema de la falla fase a fase. ....	19
<b>Gráfica 12.</b> Esquema de falla fase a fase y tierra. ....	19
<b>Gráfica 13.</b> Componentes simétricas. ....	20
<b>Gráfica 14.</b> Representación de las cargas lineales y no lineales. ....	23
<b>Gráfica 15.</b> Interconexión entre dos nodos. ....	26
<b>Gráfico 16</b> Onda senoidal de corto circuito simétricos. ....	35
<b>Gráfico 17.</b> Onda de corriente de corto circuito asimétrico. ....	36
<b>Gráfico 18.</b> Diagrama de la corriente de corto circuito. ....	36
<b>Gráfico 19</b> Diagrama de secuencia de las impedancias. ....	39
<b>Gráfico 20.</b> Reconectores trifásico y monofásico. ....	42
Gráfico 21. Curva de <i>operación</i> de un reconector. ....	44
<b>Gráfica 22.</b> Curva de actuación de los reconector de CEDEL. ....	46
<b>Gráfica 23.</b> Curva de actuación de reconector. ....	46
<b>Gráfica 24.</b> Gráfico del ajuste de un reconector arranque en frío. ....	47

<b>Gráfico 25.</b> Gráfico del ajuste para la corriente de inrush. ....	48
<b>Gráfica 26</b> Mecanismo de un seccionalizador hidráulico .....	49
<b>Gráfica 27</b> Seccionalizador con control hidráulico .....	50
<b>Gráfica 28.</b> Seccionalizador monofásico de ABB.....	51
<b>Gráfica 29.</b> Seccionalizador trifásico Autolink de ABB. ....	51
<b>Gráfico 30.</b> Partes de un seccionalizador Auto de ABB. ....	51
<b>Gráfico 31.</b> Especificaciones técnicas de seccionalizadores de ABB. .....	52
<b>Gráfico 32.</b> Esquema de fusible de expulsión.....	52
<b>Gráfica 33.</b> Creación de base de datos. ....	53
<b>Gráfica 34.</b> Ubicación del reconectador de cabecera. ....	54
<b>Gráfica 35.</b> Ubicación de reconectador de recinto la Francia.....	55
<b>Gráfica 36.</b> Ubicación de reconectador del recinto la Chiflera. ....	55
<b>Gráfico 37.</b> Posicionamiento de los reconectador en el alimentador.	56
<b>Gráfica 38</b> Posicionamiento de los reconectores en el alimentador.	62
<b>Gráfica 39.</b> Coordinación reconectador – Fusible.....	62
<b>Gráfica 40</b> TCC reconectador de cabecera – reconectador de línea 30K.....	63
<b>Gráfica 41</b> TCC_Rec Cabecera - Rec línea_ Alim Progreso Tiempo Coor Fase.....	64
<b>Gráfica 42.</b> TCC reconectador de cabecera – reconectador de línea 30K coord. línea tiempo.....	65

## RESUMEN

En esta investigación, se realizó el estudio y coordinación de protecciones para un sistema de distribución, enfocado al alimentador de 13.2 kv, el Progreso del Cantón Baba, Provincia de Los Ríos el cual presentaba problemas de interrupción del suministro de energía eléctrica a causa de fallos de tipo fase – tierra, lo que provocaba la apertura del reconfigurador de cabecera (Principal) dejando a gran parte de la población sin electricidad, los resultados del estudio fueron claves para realizar la coordinación de los elementos de protección como son los fusibles y los reconfiguradores, los cuales actuaran de forma coordinada según los tiempos de análisis, esto impedirá que al suscitarse una falla en la red, actúen los elementos primarios de protección y no afecte la fuente del sistema de distribución provocando la interrupción del servicio y a su vez que los indicadores de eficiencia energética como lo es el TTIK y FMIK se incrementen.

**Palabras Claves:** (protecciones, alimentador, reconfigurador, fusibles, fallas, sistemas)

## **ABSTRACT**

In this investigation, the study and coordination of protections for a distribution system was carried out, focused on the 13.2 kV feeder, the Progress del Canton Baba, Province of Los Ríos, which presented problems of interruption of the supply of electrical energy due to failures. phase-earth type, which caused the opening of the header (Main) recloser, leaving a large part of the population without electricity. The results of the study were key to coordinating protection elements such as fuses and reclosers. , which will act in a coordinated manner according to the analysis times, this will prevent the primary protection elements from acting when a failure occurs in the network and will not affect the source of the distribution system causing the interruption of the service and in turn the indicators of energy efficiency such as TTIK and FMIK increases.

**Keywords:** (protections. Feeder, recloser, fuses, faults, systems)



## **INTRODUCCIÓN**

Actualmente, los países viven en constante crecimiento industrial y poblacional, por lo cual la demanda de energía eléctrica crece de forma exponencial, en vista de esto se hace imperioso tener subestaciones de distribución de energía eléctrica que cubran en mayor porcentaje las cargas que se requiere para los sectores de la producción, por lo tanto surge la necesidad de hacer estudios para repotenciar los alimentadores, iniciar rigurosos análisis de coordinación de protecciones eléctricas para los sistemas de distribución, estos estudios son importantes para el óptimo funcionamiento de los alimentadores y sistemas eléctricos de distribución, ya que obtendremos datos exactos y criterios de instalación de equipos para maniobra y sistemas de protecciones gracias análisis y simulaciones con datos reales a través de un software llamado CYMDIST.

## **CAPÍTULO I**

### **GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

#### **1.1. Justificación.**

Los equipos automáticos instalados en las redes de distribución de energía eléctrica son un método actualizado de protección en las redes de distribución, a nivel de media tensión, estos operan de forma eficaz, basados en estudios para su óptimo funcionamiento en el sistema, haciendo que las fallas que se produzcan sean eliminadas con tiempos de interrupción bajos.

El alimentador a nivel de 13.2 Kv llamado Progreso, ubicado en el cantón Baba de la Provincia de Los Ríos, tiene constante problema de interrupción del fluido de energía eléctrica por estar ubicado en una zona rural donde existe mucha vegetación, los árboles y sus ramas con los vientos tocan los conductores provocando fallas de fase a tierra en los ramales y al no existir una adecuada coordinación de las protecciones, las respuestas de los equipos ante estas fallas no son eficaces, provocando así la apertura de las protecciones principales del alimentador dejando sin suministro a una gran parte del sector, provocando que los indicadores de calidad suban.

Este trabajo estudia y coordina el sistema de protecciones, utilizando la herramienta, efectiva tecnológica software CYMDIST en su versión 9.1 para el cálculo de dimensionamiento, criterio de selección e instalación de equipos de protección para los sistemas de distribución.

El resultado pretende ser una guía explicativa para los estudiantes y profesionales.

## **1.2. Objetivos.**

### **1.2.1. Objetivo General.**

Realizar el estudio y coordinación de los elementos de protección del alimentador Progreso, con el fin de que las protecciones del alimentador actúen en forma coordinada ante la presencia de alguna falla, usando la herramienta tecnológica software CYMDIST versión 9.1.

### **1.2.2. Objetivos Específicos.**

- Realizar levantamiento de información en campo para obtener datos importantes para el estudio de protecciones en el alimentador.
- Analizar mediante el método de kva conectados en el sistema la distribución de carga en el alimentador con los datos obtenidos en campo.
- Analizar el flujo de carga y corto circuito con la finalidad de obtener la ampacidad de los equipos de protección a instalar.
- Elaborar un diagrama de curvas características tiempo - corriente de coordinación reconectador vs fusible.

## **1.3. Alcance del proyecto.**

Como parte de este trabajo de investigación o proyecto de titulación, se realiza el análisis de coordinación de protecciones mediante simulaciones y cálculos, el estudio del flujo de carga eléctrica en alimentador, el dimensionamiento de la ampacidad de los equipos de protección que intervienen en un sistema de distribución de electricidad a nivel de media tensión, así también como algunos parámetros que están implícitos en la utilización de los elementos, esto se logra obteniendo información de los

manuales técnicos, donde especifiquen y detallen características técnicas de los equipos.

#### **1.4. Metodología.**

La metodología que se utiliza en el estudio de investigación es analítica y experimental porque está relacionada directamente con el análisis del incremento de carga de un sistema de distribución de energía eléctrica a nivel de media tensión, esto se puede sustentar en la información técnica de los elementos, uso de programas de simulación y cálculo de parámetros y demás técnicas que permitan integrar los objetivos planteados del proyecto.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

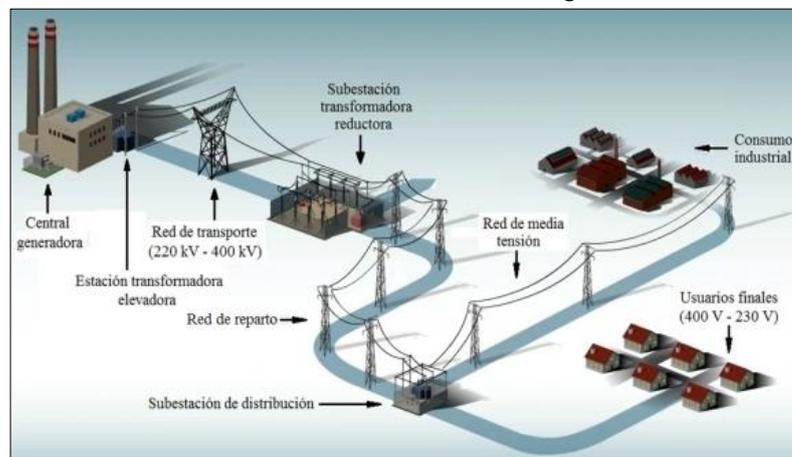
#### 2.1. Sistema de potencia.

Según Juárez (2018), un elemento fundamental de los sistemas de potencia son las redes de distribución, en ellas está la función de distribuir a los usuarios toda la potencia que se genera, conductores de subtransmisión y sistemas de distribución, que trabajan de forma conjunta en estado normal y las sus cargas en paralelo con la misma frecuencia siempre se lo conoce como sistema de potencia.

#### 2.2. Sistema de distribución.

El sistema de distribución de electricidad es el conjunto de componentes encargados de distribuir la energía eléctrica desde la subestación hasta el receptor; generalmente, la distribución de electricidad incluye conductores de distribución primarios, transformadores de distribución, conductores de distribución secundarios, conexiones y equipos de medición (Yebrá, 2021).

**Gráfica 1.** Sistema de distribución de energía eléctrica.

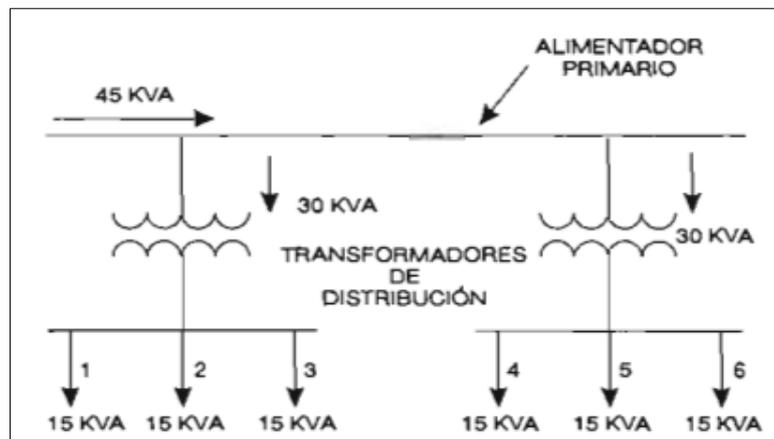


**Elaborado por:** Global Electricity (2018).

Las líneas o conductores aéreos y soterrados son parte del conjunto de elementos que representa un sistema óptimo de potencia y de distribución de energía eléctrica, el estudio de ellos es importante para entender cómo operan a continuación, se detallan varios elementos del sistema (Juárez, 2018).

- Centro de carga principal de potencia, (Subestación).
- Conductores, aisladores y apoyos de subtransmisión.
- Centro de carga de distribución (Subestación).
- Alimentadores primarios.
- Equipos de transformación de distribución.

**Gráfica 2.** Sistema de distribución con alimentadores.



Elaborado por: Juárez (2018).

### 2.3. Estructura del sistema de distribución.

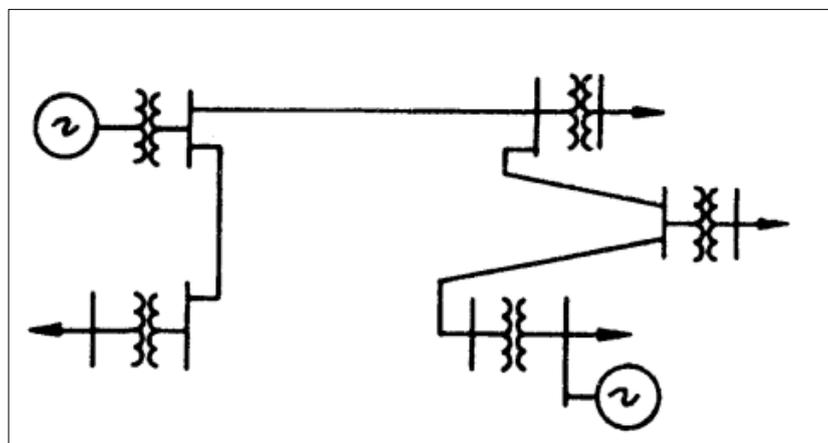
Existen estructuras muy bien determinadas, las cuales se incursionan en cualquier tipo de condición y necesidad de acuerdo con las diferentes cargas, la configuración geográfica del sitio, la fiabilidad que es requerida por los usuarios, hacen conveniente tener varias estructuras como anillo, mallada y radial (Yebra, 2021).

### 2.3.1. Estructura de red tipo radial.

Estos sistemas son simples y fáciles de administrar y proteger por supuesto los más baratos, pero es que ofrecen confiabilidad operativa, en la práctica, por regla general en la práctica se extienden a los alimentadores vecinos provenientes de la misma subestación o incluso de subestaciones separadas, se extiende a puntos que se encuentran muy próximos entre si donde se conectan con elemento (Rodrigo, 2018).

En las redes radiales con conexión por muelle, cada alimentador transporta una determinada carga durante el funcionamiento normal, esta arquitectura de sistema de distribución es el más común visto y usado en los sistemas eléctricos de potencia, la cual está limitada por el área de influencia del alimentador, los elementos del perfil que conectan dos alimentadores diferentes estaban abiertos, en caso de emergencia los del perfil se cierran y abren estratégicamente para así evitar cruce de flujo de tensión (Yebra, 2021).

**Gráfica 3.** Sistema de distribución estructura radial.



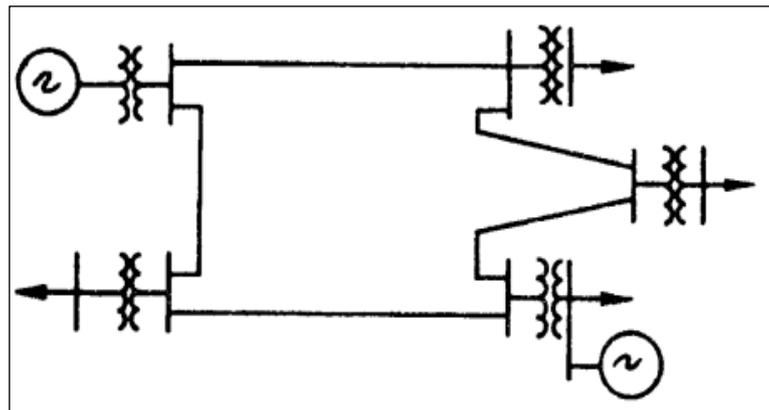
Elaborado por: Viqueira (2018).

### 2.3.2. Estructura de red tipo malla.

En las estructuras tipo malla, las alimentaciones principales pueden ser radiales o anillo, cada uno de estos alimentadores están conectados a una

serie de estaciones de distribución o centros de carga, esto es para asegurar que si falla uno de los alimentadores, no fallen todos los transformadores en la misma área, todos los alimentadores primarios deben conducir un cierto porcentaje de su potencia nominal de modo que si uno de ellos falla, los demás transformadores restantes no se vean sobrecargados (Yebra, 2021).

**Gráfica 4.** Sistema de distribución estructura malla.



**Elaborado por:** Viqueira (2018).

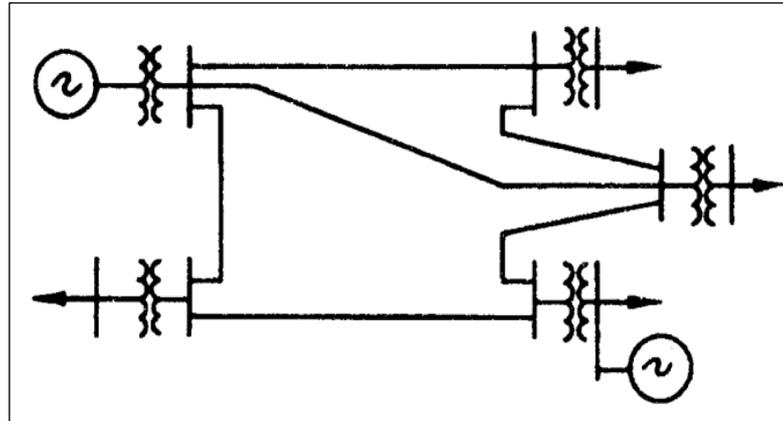
### 2.3.3. Estructura de red tipo anillo.

Según Viqueira (2018), una disposición en red anillo requiere la misma cantidad de seccionadores, que una disposición de barras colectoras únicas, pero una falla en el barraje solo provoca que se dispare el transformador conectado a esas barras, se puede separar cada uno de los seccionadores sin romper el circuito, esto permite que se puedan seccionar tramas del circuito en especial en los casos de mantenimientos de las redes, esta topología es importante.

Los sistemas en bucle son aquellos en los que se aumenta la seguridad del servicio en paralelo desde dos o tres fuentes al mismo tiempo, es un sistema seguro y común de usar en los sistemas de distribución, esta

topología pueden contener ramales más o menos importantes y ramificados (Rodrigo, 2018).

**Gráfica 5.** Sistema de distribución estructura anillo.



Elaborado por: Viqueira (2018).

## **2.4. Redes de distribución de energía eléctrica.**

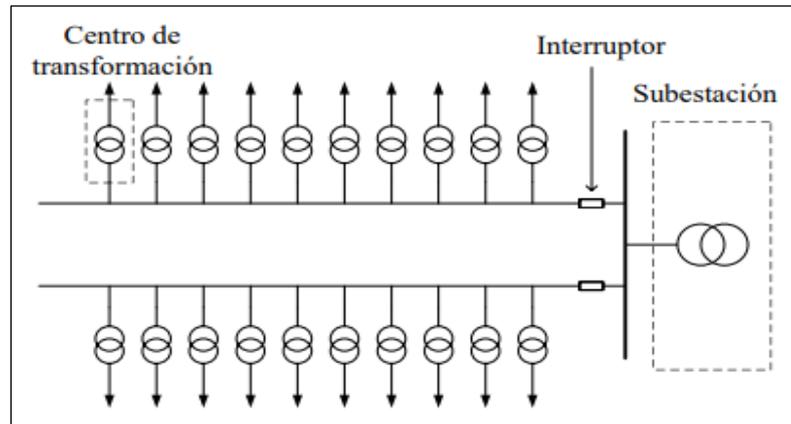
Las estructuras mencionadas con anterioridad se pueden emplear cualquiera de ellas cuando el sistema de distribución es de gran tamaño, las características propias de la configuración (calidad de abastecimiento, permisividad, valor) y las características del consumo (concentración de carga, número y emplazamiento de puntos de concentración de carga) determinan la selección apropiada (Cornejo, y otros, 2018).

### **2.4.1. Red de distribución tipo rural.**

La distribución de electricidad en las zonas rurales se distingue por contar con puntos de bajo consumo, posicionados de forma relativamente extensa, el empleo de las redes en bucle o mallada es menos apreciado monetariamente debido a las grandes distancias entre las cargas de consumo, por esta razón, las redes de distribución rurales están enmarcadas en las estructuras de tipo radial, en otros criterios, el uso de este tipo de estructura o

arquitectura, de si bien es cierto, su costo es elevado, resulta en una mejora para la distribución del servicio eléctrico (Cornejo, y otros, 2018).

**Gráfica 6.** Diagrama de redes de distribución rurales.



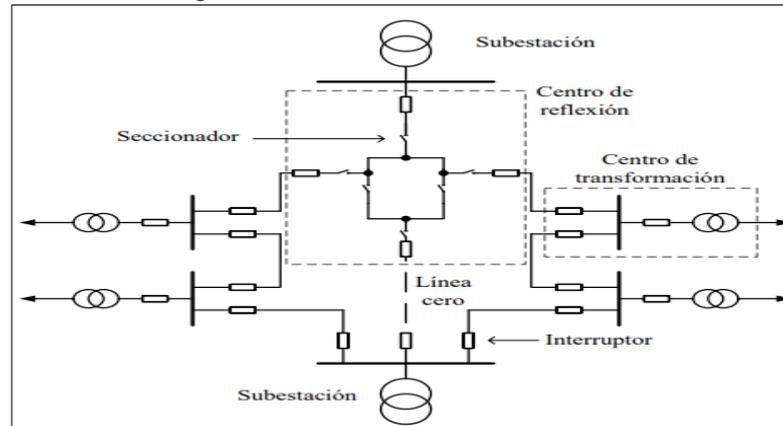
Elaborado por: Cornejo y otros (2018).

#### 2.4.2. Red de distribución urbana.

Estas redes de distribución tienen mayor concentración de carga, es debido a que cada transformador de distribución abastece del suministro una gran cantidad de consumidores, se utilizan líneas aéreas en áreas cercanas a los centros urbanos o en áreas con concentraciones de cargas típicas, las cuales son permisibles para la correcta distribución del servicio y comprende en la eficacia de la distribución de energía (Cornejo, y otros, 2018).

En las zonas urbanas, la gran parte de las personas utilizan redes subterráneas para asegurar un mejor suministro (menos irrupción del servicio) y aumentar su fiabilidad y seguridad, la configuración en anillo o bucle es una práctica común en las redes de distribución urbanas, permite la interconexión de fuentes de alimentación sin interrumpir el servicio en ramales, ideal para mantenimientos en las redes de distribución la confiabilidad de estos sistemas de distribución deben obedecer a criterios de alta ingeniería (Cornejo, y otros, 2018)

**Gráfica 7.** Diagrama de distribución de redes urbanas.



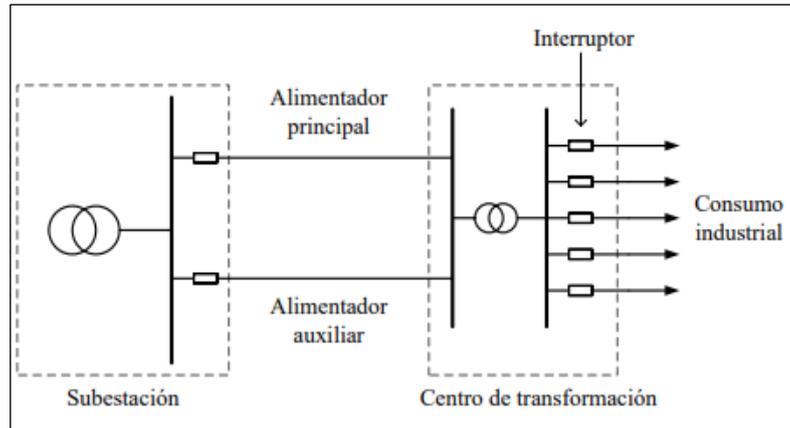
**Elaborado por:** Cornejo y otros (2018).

### 2.4.3. Red de distribución industrial.

La red eléctrica y su diseño deben tener en cuenta la probabilidad o no probabilidad de conexión a la red o sistema eléctrico, porque de ello depende la confiabilidad del receptor, lo cual en este caso es importante por el alto costo en las industrias el interrumpir el fluido eléctrico, en la industria eléctrica existen muchos tipos de cargas y, por lo tanto, la confiabilidad de cada tipo de carga requiere el rol del ingeniero de distribución ya que este puede ayudar a determinar el tipo de alimentación, la fuente de energía, su estructura, voltaje y el nivel de confianza que el consumidor requiere (Espinosa, 2017).

La confiabilidad de este tipo de estructura hace que la distribución de las cargas sean uniformes, permiten así tener un sistema equilibrado sin desbalance gracias a sus neutros aterrizados, requiere de más equipos de maniobra y de protección para garantizar la operatividad al 100%, por lo que se convierte en una estructura de elevado costo gracias ha esto no se construye de manera convencional en los sistemas de distribución las aruitecturas o topologías de los sistemas de distribución deben de garantizar la comfiabilidad del servicio una vez puesta en marcha y dar opciones tecnicas para sus manteniminetos.

**Gráfica 8.** Diagrama de distribución de redes Industriales.



**Elaborado por:** Cornejo y otros (2018).

#### **2.4.4. Rendimiento del sistema de distribución.**

Una forma común de comparar la eficiencia en cualquier sistema de transmisión o distribución es comparar la masa de cobre necesaria para transportar una carga determinada a un voltaje determinado con las mismas pérdidas de transmisión (Reeves, 2018).

La tensión nominal de un sistema o dispositivo eléctrico es el valor de tensión asignado en relación con sus características, la tensión nominal de una red de corriente alterna trifásica es el valor convencional de la diferencia de potencial efectiva entre las fases de la red (García, 2016).

#### **2.5. Fallas en los sistemas eléctricos de distribución.**

Las fallas en un sistema de distribución de energía eléctrica se pueden definir como cualquier estado anormal del sistema, incluida una falla en el comportamiento dieléctrico del dispositivo, una falla eléctrica generalmente se forma por dos condiciones anormales (Yebra, 2021).

Es necesario tener en cuenta las corrientes y tensiones debidas a las cargas operativas, pero elevadas sobrecargas térmicas y electrodinámicas, además las corrientes de cortocircuito que circulan por la tierra pueden provocar tensiones y perturbaciones inaceptables, pero no solo son

importantes las corrientes máximas de cortocircuito, sino también las corrientes mínimas que en última instancia permiten dimensionar los dispositivos de protección de la red. (Montoya, Garces, Gil, & Escobar, 2020).

### **2.5.1. Consecuencias de las fallas.**

Según Ramírez S. (2019), modificar las condiciones de funcionamiento en un sistema eléctrico se manifiestan consecuencias no deseadas y graves que pueden perturbar la estabilidad deseada en el sistema, siendo estas:

- Balanceos inexorables de tensión.
- Las intensidades de cortocircuito generan recalentamiento y el deterioro por calor de los conductores y equipos vinculados.
- Inestabilidades en el sistema que generan trabajos no permitidos de equipos.
- Balanceos de potencias.
- Desestabilidad del sistema de potencia.
- Perturbaciones en las redes.
- Des calibración de los equipos.
- Interrupciones del servicio eléctrico.
- Daños en equipos.
- Incremento de indicadores de calidad de energía.

### **2.5.2. Clasificación de las fallas eléctricas.**

#### **2.5.2.1. Fallas francas.**

Según Ramírez S. (2019), en su investigación considera que se debe asegurar que este tipo de anomalía manifiesta un cortocircuito franco o un seccionamiento del conductor (circuito aperturado) los casos de este tipo de

falla son comúnmente escasos, ya que representa no más del 5% del total de las anomalías y estas son: A tierra (baja impedancia).

- Circuito abierto.
- Cortocircuito entre fases.

#### **2.5.2.2. Fallas no francas.**

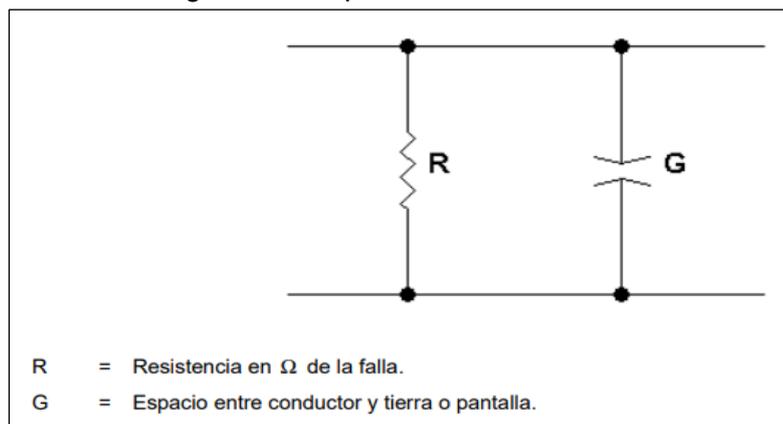
Ramírez S. (2019) menciona que las anomalías de este orden manifiestan un bajo aislamiento en el sitio de detención del fallo, estos que en estado de operatividad o con voltaje de prueba aplicada, en alguna sección del aislamiento debilitado del conductor se generó la descarga y el conductor no puede continuar su operatividad, las fallas no francas son:

- Fusión de las fallas francas.
- De alto voltaje (elevada impedancia).
- Interrumpidas.
- De baja frecuencia.
- Sobreintensidades provocadas.

#### **2.5.2.3. Fallas temporales.**

Se trata de la formación de arcos en aisladores, que se produce oscilación de los conductores, las descargas de rayos y la posibilidad de que las ramas de los árboles entren en contacto con los conductores, estos fallos suelen corregirse antes de que se produzcan daños graves gracias a rápidos dispositivos de seguridad este tipo de fallas es muy común en zonas de mucha vegetación, ya que por este factor se producen fallas de fase a tierra temporales; son las fallas más comunes en los sistemas monofásicos o ramales de derivación de troncales trifásicas (Encala & Tonato, 2023).

**Gráfica 9.** Diagrama de representación de una falla eléctrica.



**Elaborado por:** Ramírez S. (2019).

#### **2.5.2.4. Fallas permanentes.**

Estos son defectos que persistirán hasta que se solucionen, por ejemplo: vinculación entre dos líneas vivas desnudas en una red aérea debido a desperfectos o fracturas en los herrajes de sujeción de los conductores, contacto de las líneas con las ramas de los árboles, generación de arcos eléctricos entre fases, caída del conductor ante la ruptura del amarre de sujeción al aislador, la colisión de algún vehículo u objetos contundentes contra el apoyo, ocasionando que se quiebre y las líneas toquen entre sí, generando la suspensión del suministro de energía eléctrica en el sistema (Encala & Tonato, 2023).

#### **2.5.3. Fallas simétricas.**

Las intensidades que fluyen en las diversas secciones de un sistema eléctrico de potencia, inmediatamente después de que ocurre una falla, difieren con aquellas que circulan en tiempos un poco tardío, antes de que los sistemas de interrupción inicien su operación de apertura, la línea en ambos sitios de las fallas es por lo general el tipo de falla que se presenta en los

sistemas trifasicos, ya sea por desfase de corriente y tensión manteniéndose la falla (Grainger & Stevenson jr, 2018).

#### **2.5.4. Fallas asimétricas.**

Stevenson (2017), menciona que las anomalías o fallas de orden asimétrico son las que en gran parte ocurren en los sistemas eléctricos de potencias y están formadas por cortocircuitos asimétricos, anomalías por medio de impedancia o conductores en apertura, las fallas asimétricas que se pueden generar son:

- Anomalía monofásica a tierra.
- Falla de línea a línea.
- Falla de línea a línea y a tierra.
- Falla de tres fases.

##### **2.5.4.1. Falla fase a tierra.**

El defecto monofásico a tierra, comúnmente conocido como falla fase a tierra, implica un vínculo directo entre la fase y la tierra, generando que la fase sea cero en función del valor de la impedancia que tenga la anomalía, ya que la intensidad de corriente eléctrica adquiere un elevado valor, produciendo así un desequilibrio en las dos fases restantes, como la falla anterior las de este tipo originan situaciones negativas en el sistema de distribución que van desde daños a los equipos hasta la suspensión del suministro eléctrico, estadísticamente es el fallo que más frecuentemente se produce en los sistemas eléctricos de distribución su porcentaje de incidencia en los sistemas de distribución es alto por ser la falla mas común (Encala & Tonato, 2023).

#### **2.5.4.2. Falla de fase a fase.**

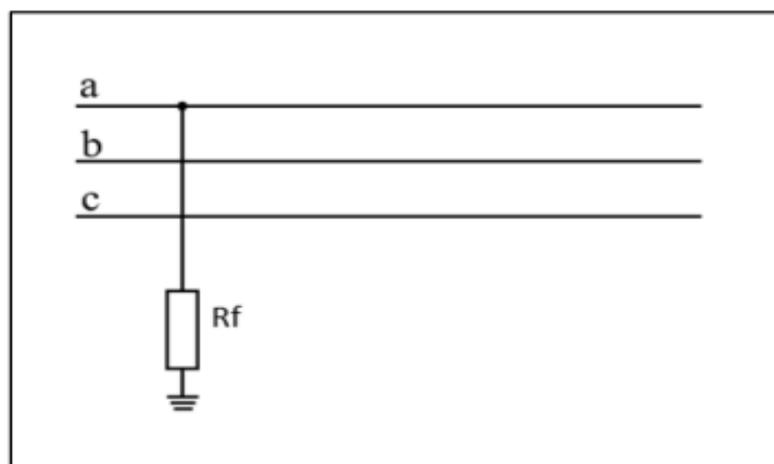
Este tipo de fallas de fase a fase donde se vinculan dos conductores que llevan tensión, generando una sobreintensidad muy elevada en comparación a su intensidad y su magnitud sea igual en sus dos fases, el voltaje deberá estar implícito con la impedancia de defecto generando desbalanceo en la fase restante (Encala & Tonato, 2023).

#### **2.5.4.3. Falla de fase a fase y tierra.**

Este tipo de fallas no son muy recurrentes en los sistemas eléctricos, pero al originarse supone un problema importante al poner en riesgo equipos sensibles, cargas conectadas a los sistemas, así como la suspensión inmediata del suministro de energía eléctrica del alimentador, provocando que los indicadores de calidad de energía y de servicio suban producto de las interrupciones, además de causar desestabilidad en el sistema eléctrico, si no se usan las apropiadas protecciones y coordinación de operación entre ellas, los resultados serían fatales (Encala & Tonato, 2023).

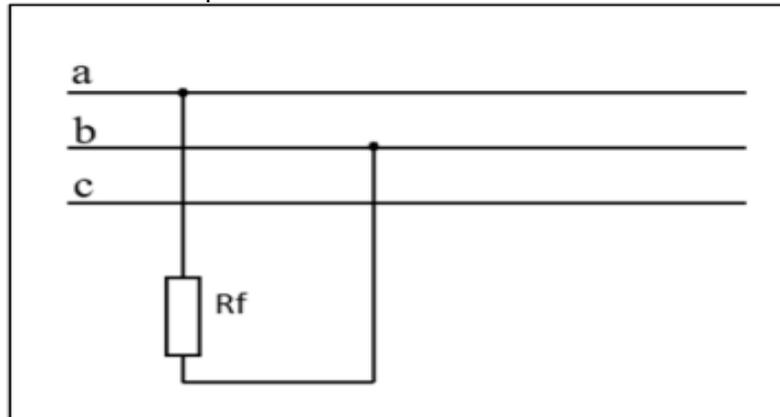
### **2.6. Esquemas de las fallas.**

**Gráfica 10.** Esquema de falla fase a tierra.



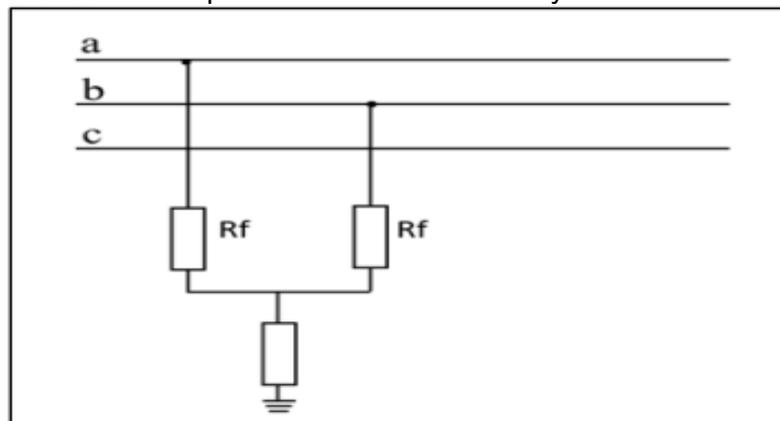
**Elaborado por:** Encala & Tonato (2023).

**Gráfica 11.** Esquema de la falla fase a fase.



**Elaborado por:** Encala & Tonato (2023).

**Gráfica 12.** Esquema de falla fase a fase y tierra



**Elaborado por:** Encala & Tonato (2023).

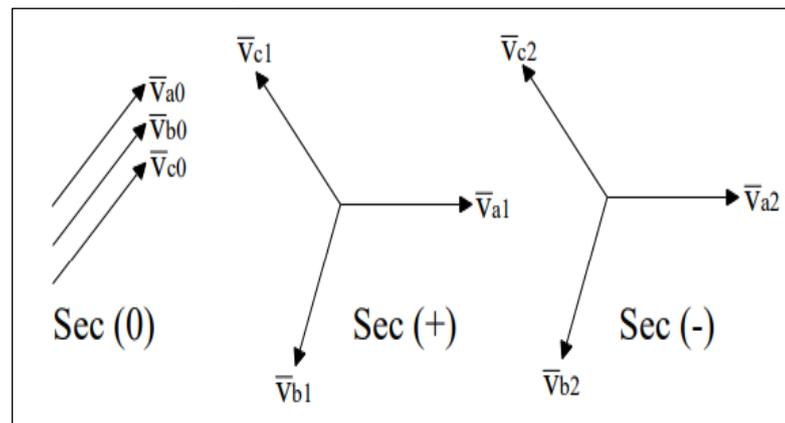
## 2.7. Análisis de las componentes simétricas.

El corto circuito trifásico es considerado una anomalía muy grave en los sistemas de distribución y de potencia, es el único corto circuito equilibrado porque las tres fases de la línea están en contacto al mismo tiempo, esto da como resultado que esta falla denominada cortocircuito trifásico pertenezca a cargas simétricas por estar involucradas las tres fases del sistema de esta falla se obtiene un adecuado estudio (Mujal, 2019).

### 2.7.1. Técnica para el cálculo de las componentes simétricas.

Para el cálculo de las componentes simétricas, debemos notar que el vector (R) se puede descomponer en tres componentes ( $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_0$ ) dispuestos en un orden completamente arbitra, es posible formar un sistema trifásico simétrico equilibrado, en el que el componente ( $R_1$ ) puede formar un sistema trifásico secuencial directo (R, S, T) y el componente ( $R_2$ ) sistema trifásico de secuencia inversa (R, T, S) y finalmente la componente ( $R_0$ ) pueden complementarse entre sí para formar un sistema homopolar. Así, utilizando el sistema de tres componentes, es posible representar cualquier sistema trifásico asimétrico en el plano gaussiano (Mujal, 2019).

**Gráfica 13.** Componentes simétricas



**Elaborado por:** Castelblanco & Gonzales (2022).

### 2.8. Cargas eléctricas del sistema de distribución.

Entre la variedad de datos que están implícitos en un sistema eléctrico de potencia, la carga que es consumida por los usuarios del sistema, ya sea residencial, comercial o industrial, es muy difícil predecir científicamente el valor de la carga, ya que esta cambia de un segundo a otro (Weedy, 2017).

De todos los componentes del sistema, las cargas son quizás las más desafiantes, a diferencia de lo que sucede con los generadores y los conductores eléctricos, en las subestaciones de distribución se observan receptores de muy diversas características por lo que su estudio es muy complejo (Gallego, Escobar, & Granda, 2017).

## **2.9. Tipos de cargas.**

En la mayoría de los casos prácticos, debido a los efectos, la carga es de tipo inductiva que pueden ser motores asíncronos y reactores utilizados para la iluminación, por lo tanto, las cargas normalmente consumen energía activa y solicitan energía reactiva del sistema, la potencia reactiva requerida por la carga a nivel del sistema de energía representa la demanda observada de la estación transformadora de distribución y no debe excederse de la mitad del valor de la potencia activa (Gallego, Escobar, & Granda, 2017).

Son aquellas que representan consumo energético dentro de un sistema eléctrico de potencia y son importantes para el estudio y determinación de equipos de protección, estas cargas pueden ser lineales que se dividen en sensibles y trifásicas y las cargas no lineales todas importantes para el análisis y estudio del flujo de carga (Encala & Tonato, 2023).

### **2.9.1. Cargas lineales.**

Una carga lineal, en pocas palabras, es aquella a la cual si se le aplica un voltaje sinusoidal, generará una intensidad de corriente sinusoidal con la misma frecuencia para ambas magnitudes, aunque es factible provocar un desfase entre la intensidad de corriente de la carga y el voltaje, entonces la corriente y el voltaje están relacionados por una constante que depende de la frecuencia, lo que significa que los elementos pasivos de tipo inductores y

capacitivos, aunque creen o generen un desfase de voltaje y corriente, son cargas lineales (Autonell, y otros, 2018).

#### **2.9.1.1. Cargas trifásicas.**

Se llaman cargas trifásicas a un conjunto de tres impedancias con iguales valores en sus magnitudes de voltaje y de intensidad de corriente, siendo la simetría entre ellas su principal característica, estas cargas se pueden dividir o agrupar en dos tipos de conexiones, las cuales son; conexión tipo de delta y conexión de tipo estrellas, las cuales deben estudiarse de forma experimental (Carpio, Miguez, Guirado, & Inclan, 2018).

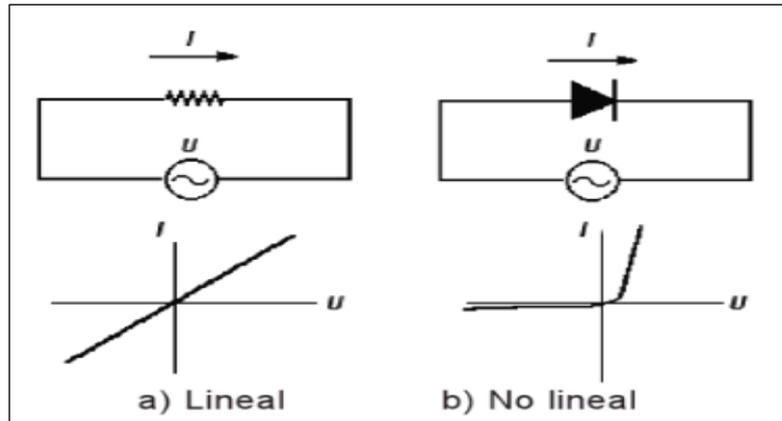
#### **2.9.1.2. Cargas sensibles.**

Este grupo lo comprende básicamente los artefactos domésticos, los equipos informáticos como miniordenadores o equipos provistos de tarjetas con componentes sensibles a altas corrientes eléctricas, ya que al estar expuestos pueden provocar pérdidas en las memorias y fallos en el sistema e incluso averías de los equipos (Ramirez & Cano, 2019).

#### **2.9.1.3. Cargas no lineales.**

Las cargas no lineales ocurren cuando, la relación de voltaje y corriente no son constantes, reales y complejas, sino que son dependientes del punto de operación si la carga que se menciona está alimentada por una fuente de corriente continua o frecuencias muy bajas, a diferencia de las cargas líneas que se representan gráficamente por una línea, las cargas no lineales se representan gráficamente mediante una curva el efecto de las cargas no lineales en los sistemas eléctricos es generar armónicos, picos de corrientes transitorias y problemas de resonancia, estos efectos pueden reducir la calidad de energía eléctrica suministrada (Autonell, et al., 2018).

**Gráfica 14.** Representación de las cargas lineales y no lineales



Elaborado por: (Autonell, et al., 2018).

## 2.10. Flujo de potencia.

El flujo de potencia es un tema de importante de tratar porque está implícito el funcionamiento de centrales térmicas en el sistema, con una adecuada gestión de producción es posible disminuir las pérdidas en el sistema de transmisión y así, por lo tanto, el consumo de combustibles y los costos operativos generales del sistema (Bichels, 2018).

Según Bichels (2018), el sistema eléctrico de potencia debe ser apto para transportar la energía eléctrica, el generador está conectado a él y suministrará la carga al consumidor en cualquier momento bajo condiciones de tensiones apropiadas y mantener la continuidad de la energía a niveles constantes, para garantizar el suministro continuo a los consumidores.

## 2.11. Flujo de potencia en una red eléctrica.

El análisis de la corriente de carga requiere herramientas adecuadas y confiables, especialmente si el sistema es grande para determinar el tamaño de red apropiado de acuerdo con los criterios y estándares de diseño actuales, lo cual es esencial para comparar soluciones de alternativas de transmisión y

construir nuevas líneas, planificar la inversión en generación y ajustar la compensación pasiva requerida (Bichels, 2018).

### 2.12. Flujo de carga.

Esto se utilizará como base para calcular la distorsión armónica (THD), en el futuro se utilizará para describir el ángulo de fases de fuentes armónicas, la impedancia del sistema se expresa ( $\phi$ ), se supone que el voltaje que suministra la empresa distribuidora a través de la línea es 1pu, los datos de flujo, incluidos las unidades de impedancia, se muestran en archivos, sin embargo la solución de flujo de carga se logra utilizando el programa Matlab Power Systems o usando otro software como por ejemplo el IPFLOW2.1 (Ramirez & Cano, 2019).

**Tabla 1.** Datos de los ramales o derivaciones.

Desde Barra	Hasta barra	R (pu)	X (pu)	Charging (pu)	Tipo de Elemento
E	IND 1	0.0025	0.04	0	Transformador
IND 1	IND 2	0.0011	0.0032	0	Línea

**Elaborado por:** Ramírez & Cano (2019).

### 2.13. Estudio de flujo de carga.

El paso importante es determinar los voltajes complejos en todos los nodos o puntos de conexión, los métodos de análisis que utilizan corrientes o voltajes de nodo no se pueden aplicar directamente porque los datos de carga del generador se consideraran una fuente de energía más no una fuente de voltaje o corriente, por lo que utilizar el método del sistema de ecuaciones lineales para analizar las corrientes de carga es una solución técnica y precisa (Barrero, 2018).

**Tabla 2.** Datos de flujo de carga con software IPFLOW2.1

Barra	P-gen	Q-gen	P-carga	Q-carga	Shunt	V	Fase
E	1.860	0.152	0	0	0	1.0	0.0
IND1	0	0	1.0	0.62	0.62	0.992	-4.16
IND2	0	0	0.8	0.455	0.455	0.991	-4.3

**Elaborado por:** Ramírez & Cano (2019).

## 2.14. Problema de flujo de carga.

Gallego y Granda (2017), mencionan que el uso de procedimientos numéricos facilita a los analistas el uso de computadoras para resolver problemas eléctricos, las funciones realizadas por los diseñadores, proyectistas y analistas de redes eléctricas incluyen entre otras:

- Procedimiento para el cambio de matrices.
- Procedimiento recurrente de Gauss Seidel.
- Procedimiento de Newton Raphson.

### 2.14.1 Procedimiento recurrente Gauss Seidel.

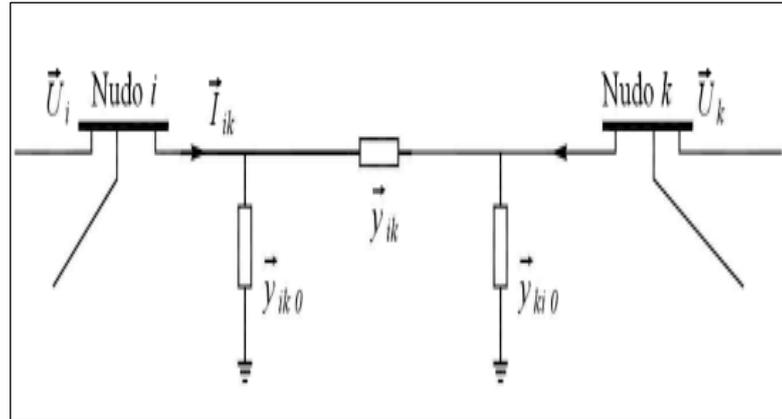
Esta es una aplicación directa al caso no lineal de uno de los métodos iterativos para resolver sistemas lineales, su interés en la práctica actual de software comercial y muy limitado (Barrero, 2018).

**Tabla 3.** Datos de ecuación método Gauss-Seidel.

NODO	TIPO	VARIABLES CONOCIDAS	VARIABLES DESCONOCIDAS
$I$	Generación	$\vec{U}_i$	$\vec{Y}_{1k}^*$
$K$	Carga	$\vec{S}_1$	$\vec{U}_k^*$

**Elaborado por:** Autor

**Gráfica 15.** Interconexión entre dos nodos.



**Elaborado por:** Barrero (2018).

**Ecuación 1:** Potencias en el nodo.

$$\vec{S}_1 = \vec{U}_i \sum_{k=1}^n \vec{U}_k^* \vec{Y}_{1k}$$

El procedimiento de resolución matemático Gauss-Seidel se emplea para resolver sistemas de ecuaciones con estas características complejas, como se evidencia en la ecuación 1, se logra mediante un proceso interactivo, dando como resultado que las ecuaciones finales se escriban de una manera ideal para este método, proporcionando así que la resolución de los cálculos de flujo de carga sea óptimos, el método también se aplica para los cálculos de potencia distribuida (Barrero, 2018).

**Ecuación 2:** Flujo de carga.

$$P_k - JQ_k = \vec{V}_k^* \sum_{m=1}^n \vec{Y}_{km} \vec{V}_m$$

### 2.14.2 Procedimiento Newton Raphson.

El método de Newton-Raphson para la solución del flujo de carga se basa en la exteriorización de la serie de Taylor en la que se incluyen dos o

más variables para comprender con exactitud el método, en primera instancia, lo aplicaremos en resolución de ejercicios compuestos por sistemas de ecuaciones no lineales y luego se realizará utilización del método para la resolución de problemas de flujo de carga (Bichels, 2018).

**Ecuación 3:** Método expandido de Taylor.

$$f_1(x_1^0 + \Delta x_1; x_2^0 + \Delta x_2) = y$$

$$f_2(x_1^0 + \Delta x_1; x_2^0 + \Delta x_2) = y_2$$

El método Newton-Raphson nos accede para dar solución a problemas de flujo de carga, sobre un reducido número de iteraciones, utilizando procedimientos computacionales, almacenamiento y rotación de una base datos principal para su resolución, esto es acortar el tiempo especialmente en análisis cuyos casos son emergentes, en los sistemas eléctricos se han desarrollado métodos de cálculo más rápidos, obteniendo resultados con exactitud, estos métodos son conocidos como separación o desacople y separación o desacople rápido, ambos aproximados y requieren cierta simplificación pero proporcionan suficiente precisión en el análisis del flujo de carga (Bichels, 2018).

**Ecuación 4:** Newton-Raphson desacoplado.

$$[\Delta P] = [H] [\Delta \theta]$$

$$[\Delta Q] = [L] [\Delta E]$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & 0 \\ 0 & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta E \end{bmatrix}$$

## 2.15 Flujo de carga armónico

En las líneas de carga armónica, esto se hace mediante una ecuación que tiene en cuenta la influencia en la red eléctrica de elementos no lineales, que provocan uno u otro tipo de distorsión armónica, por la relación entre la potencia activa y reactiva de cada nodo con el voltaje y ángulo del nodo, según la topología de la red, en cuyo caso las ecuaciones pasan a formar parte del análisis de la red cuando su topología es radial (Parra, 2022).

**Ecuación 5 :** Corriente neta inyectada en el nodo.

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^l} - y_i^g V_i^l$$

$P_i, Q_i$  Potencia activa y reactiva del nodo  $i$ .

$V_i^l$  Tensión del nodo  $i$  en la iteración  $l$ .

$y_i^g$  Admitancia total entre el nodo  $i$  y tierra.

### 2.15.1 Distorsión armónica en el sistema de distribución.

La distorsión armónica es una anomalía que se crea por cargas inductivas en el sistema, como lo son los motores cuando generan un arranque, el tamaño de la onda en cualquier parte del sistema se manifiesta que las ondas tienen elementos armónicos, por lo cual contaminan la señal senoidal, esta contaminación se la conoce como distorsión armónica y es una falla que muestra cambios negativos en la calidad de energía y es imperioso corregir este tipo de defecto. (Gallego, Mora, & Hincapie, 2021).

Los sistemas de distribución deben ser diseñados para cargas no lineales y no limitarse a las intensidades y tensiones sinusoidales, las cargas no lineales generan contaminación armónica porque en la onda de señal de

corriente provocan una distorsión esto se da gracias a la resonancia que generan, elevando así las pérdidas en el sistema eléctrico, disminuyendo la vida útil de los equipos conectados en el sistema (Velez, 2023).

### 2.16 Norma IEEE-519-2022.

Esta norma se convierte en el estándar importante a ser ampliamente utilizado, esta norma incluye requisitos relacionados con las perturbaciones en las redes como lo son los armónicos, tanto el nivel máximo absoluto de THDU como el máximo nivel de TDD, las cuales son variables, todas las restricciones se aplican al punto de conexión común PCC (COMSYS, 2022).

En la tabla que se muestra a continuación se observan valores para armónicos impares y para los valores para los armónicos pares se toma el 25% del valor establecido para los armónicos impares superiores según la norma (Parra, 2022).

**Tabla 4.** Límites de distorsión para corrientes en el sistema.

ISC/IL	$2 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD Required
<20c	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0

**Fuente:** COMSYS (2022).

### 2.17 Potencia reactiva en el sistema.

La capacidad de reactivo en un sistema de tres fases se puede producir sin la necesidad de equipos que acumulen energía, ya que una línea de las

tres que conforman el sistema trifásico, la capacidad reactiva es positiva y negativa en las dos restantes conservando un impecable equilibrio entre las líneas, esto se resume en un sistema trifásico debemos tener en cuenta la óptima ubicación de los sistemas redistribuidores de carga o potencia reactiva para así compensar de potencia reactiva nuestras fases, los equipos redistribuidores deben ser no lineales por que la carga reactiva que suministre a las líneas se puede volver fluctuante, en los sistemas monofásicos se utilizan capacitores perfectamente dimensionados para la compensación reactiva en el sistema ya que las cargas inductivas aplicadas en el sistema generan armónicos los cuales causan problemas en el sistema (Montoya, Garces, Gil, & Escobar, 2020).

### **2.18 Efecto de la compensación de potencia reactiva.**

De acuerdo con los datos de la tabla que se muestra a continuación, es factible minimizar las pérdidas de potencia y energía, al conectar en la red un sistema de compensación reactiva capacitiva, que para términos de aprendizaje sería óptimo que la compensación sea de 1800 kvar que corresponden a un factor de potencia de igual a uno (Yebra, 2021).

**Ecuación 6:** Factor de potencia.

$$\cos \varphi_r = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_i - Q_c)^2}}$$

Entre los beneficios de la compensación de energía reactiva en el sistema se encuentran: la reducción de pérdidas eléctricas, el aumento de la capacidad de transporte de energía activa, la mejora de la calidad del suministro eléctrico, la disminución de costo en la facturación eléctrica y el aumento de la vida útil de los equipos.

**Tabla 5.** Variación de capacidad del banco de capacitores.

Capacidad del banco kvar	Capacidad liberada kVA	Factor de potencia de la carga	Porcentaje de regulación	Reducción de potencia kW	Perdidas de energía kWh
cero	Cero	-0.800	5.85	cero	cero
300	170	-0.848	5.35	11.3	32 234
600	317	-0.894	4.81	20.6	59 004
900	437	-0.936	4.29	29.4	83 952
1200	527	-0.970	3.83	32.9	94 057
1500	582	-0.992	3.32	36.0	102 924
1800	600	1.000	2.82	37.0	105 759
2100	582	0.992	2.33	36.0	102 924
2400	527	0.970	1.83	32.9	94 057
2700	437	0.936	1.33	29.4	83 952
3000	317	0.894	0.86	20.6	59 004

**Fuente:** Yebra (2021).

## 2.19 Impedancia.

Las principales características de una línea de transmisión y de distribución de energía eléctrica son: la impedancia, conductividad, inductancia y la capacitancia, las cuales se producen por factores propios como lo es en el caso de la impedancia que es producida por la resistividad que posee el material principal del conductor, la inductancia que se provoca por la generación de campos magnéticos que rodean al conductor, la conductancia o permeabilidad del conductor producida por las corrientes de fugas entre las línea y la tierra y la capacitancia la cual se produce a través de

la generación del campo eléctrico que se forma en las líneas cuando están paralelas, sin embargo al analizar las fallas por cortocircuito se puede simplificar los parámetros de estudio y tomar como inicio del cálculo de falla a la resistencia y la inductancia, esto porque son dos magnitudes eléctricas de igual origen y su estudio es la base teórica de lo implícito en los campos magnéticos (Sirpa, 2023).

## **2.20 Impedancia de la fuente.**

Una forma común de calcular fallas en un sistema de distribución es comenzar desde la barra de baja tensión de la subestación que alimenta la red de distribución y calcular los diferentes tipos de fallas en ese punto y luego en otros puntos diferentes del circuito. (COMSYS, 2022).

Primero, es necesario conocer el valor de la impedancia de la fuente en la barra colectora de bajo voltaje de la subestación, de hecho, la impedancia de la fuente es la impedancia del sistema de energía ubicado aguas abajo, hay tres métodos para determinar las fuentes de impedancia (Yebra, 2021).

### **2.20.1 Método 1.**

En el caso de un sistema de distribución abastecido por un sistema de menor magnitud que conste de conductores de transporte de energía eléctrica y de generadores, la impedancia de la fuente se la calcula de forma manual, siendo la impedancia de secuencia positiva la adición de las impedancias de conexión positiva de todos los elementos del sistema de bajo voltaje del centro de carga, la resistencia de la fuente de secuencia negativa se determina de manera similar, y la resistencia de la fuente de secuencia cero no siempre es la suma de los componentes (Yebra, 2021).

### 2.20.2 Método 2.

Yebra (2021) menciona que, a partir de las pruebas del sistema de transporte de energía eléctrica en corto circuito, se pudo extraer los resultados y los valores en unidades de corrientes de corto circuito (entre una fase y tierra, fases y tres fases), estos valores deben ser preferiblemente números complejos, si el valor por unidad  $V$ , (tensión del bus de alta tensión de la subestación), utilizado para el cálculo de las corrientes de corto circuito de  $1+0j$ , es importante saber cuál es el valor por unidad que se utiliza, las fuentes de impedancia se determinan usando las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 7:** Impedancia de secuencia de la fuente.

$$Z_{f1} = \frac{V}{I_{f3\phi}} - Z_f$$

**Ecuación 8:** Impedancia de la fuente entre fase y fase

$$Z_{f2} = \frac{j3V}{I_{fL-L}} - Z_{f1} - Z_f$$

**Ecuación 9:** Impedancia de la fuente fase y neutro.

$$Z_{f0} = \frac{3V}{I_{fL-N}} - Z_{f1} - Z_{f2} - 3Z_f$$

### 2.20.3 Método 3

Yebra (2021) menciona que en varios casos solo se conoce la fuente de alimentación corto circuito trifásico en la parte de alta tensión de la barra colectora del centro de carga, este método es similar al segundo método,

salvo que la información que se tiene es solo para los corto circuitos de potencia del circuito de la fase, en este caso, se puede realizar el cálculo del valor de la impedancia positiva de la fuente  $Z_{f1}$  transformándola potencia de corto circuito en corriente de corto circuito, para realizar el cálculo de la impedancia se necesita la siguiente ecuación:

**Ecuación 10:** Tercer método de la impedancia de la fuente.

$$Z_{f1} = \frac{kVA_{Base}}{kVA_{3\phi falla}}$$

**Donde**

$Z_{f1}$  = Magnitud de la impedancia de la fuente de secuencia positiva por unidad.

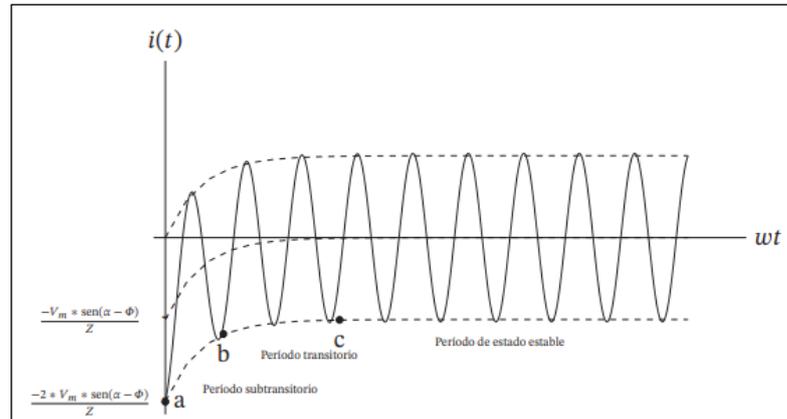
$V$  = Tensión entre fases en el bus de alta tensión de la subestación

$kVA_{3\phi falla}$  = Potencia de corto circuito trifásico en kVA

## 2.21 Estudio de la corriente de corto circuito.

El estudio consiste básicamente en determinar la magnitud de la corriente de defecto en el lugar donde se originó la falla; esta sobreintensidad de corriente eléctrica o flujo de corriente puede ser simétrico o asimétrico. Si la envolvente de la onda sinusoidal de la corriente es simétrica con respecto al eje horizontal (tiempo), es una corriente simétrica, lo contrario a lo anteriormente mencionado sería que la envolvente no estaría en simetría con respecto al eje horizontal se estaría formando una sobrecorriente asimétrica, la cual se analiza como una perturbación o alteración en las ondas senoides (Yebra, 2021).

**Gráfico 16** Onda senoidal de corto circuito simétricos.



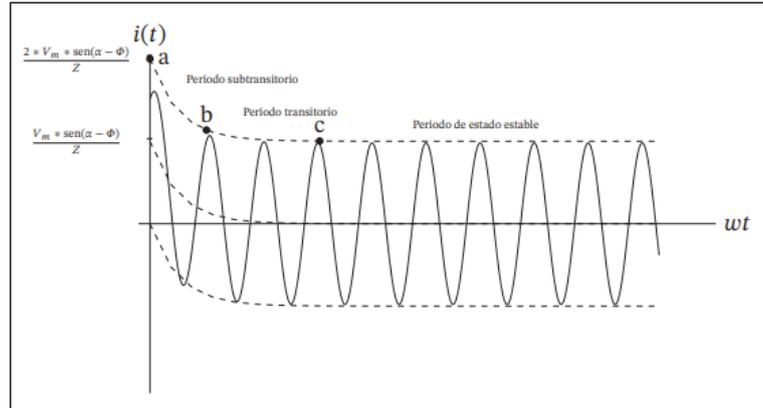
**Elaborado por:** (Gallego, Mora, & Hincapie, 2021).

## 2.22 Interpretación y estudio de corto circuito en el sistema.

Las fallas en paralelo o de cortocircuito causan cambios significativos en la operación y se pueden clasificar en dos grupos: simétricas y asimétricas, en el análisis de la red para realizar los estudios de cortocircuito, cada elemento está representado matemáticamente por las tres redes las cuales se denominan: positiva, negativa y cero, esto está relacionado o implícito en los estudios de corto circuito y para esto es necesario presentar un diseño o esquema donde se aprecie en el momento la falla, para fines de análisis, el estado de super transición se utiliza para las redes de secuencia negativa y secuencia cero (Gallego, Mora, & Hincapie, 2021).

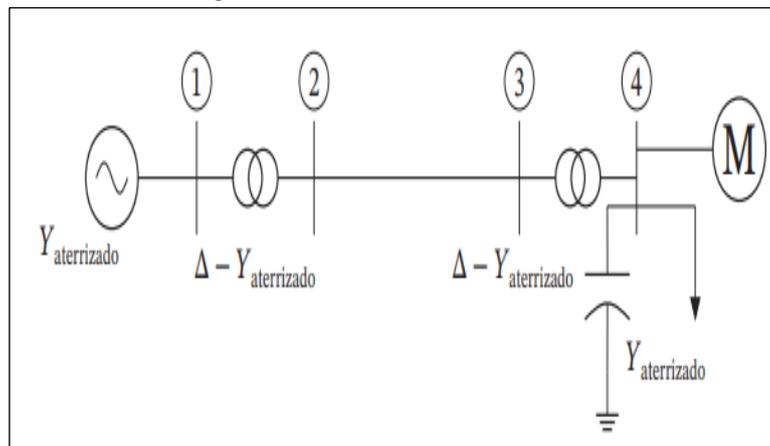
En el análisis de cortocircuito, las fallas por cortocircuito predominan entre las causas más devastadoras que pueden afectar los circuitos eléctricos en una instalación, es importante realizar un estudio para disipar este tipo de falla que por su importancia amerita de análisis profundos en escenarios donde se puede obtener el mejor criterio de selección de métodos para proteger nuestros sistemas eléctricos (Barrero, 2018).

**Gráfico 17.** Onda de corriente de corto circuito asimétrico.



**Elaborado por:** (Gallego, Mora, & Hincapie, 2021).

**Gráfico 18.** Diagrama de la corriente de corto circuito.



**Elaborado por:** (Gallego, Mora, & Hincapie, 2021).

### 2.23 Intensidades de corriente eléctrica peligrosas de corto circuito.

Mujal (2019) menciona que los cortocircuitos en un sistema eléctrico resultan extremadamente peligrosos si están en contacto directo con el ser humano de igual forma, generan daños si se producen en equipos o instrumentos de una instalación, para obtener, estudios de este fenómeno, de debe realizar el cálculo del dimensionamiento de los equipos de protección adecuados para cada red, los cuales permitirán tener una precisión adecuada en la selección de los sistemas de protección para las líneas, los equipos y los seres humanos.

## **2.24 Fallas que se generan por las corrientes de corto circuito.**

Yebra (2021) menciona que, cuando el sistema de distribución se expande y la carga aumenta, los valores de corriente de corto circuito pueden aumentar significativamente, lo que puede exceder la capacidad de protección de los dispositivos instalados en la red, las fallas que se suscitan en el sistema eléctrico por causa de las elevadas corrientes de cortocircuito pueden ser:

- Incremento de la probabilidad de que generen deterioro en los conductores de las acometidas y pequeños sistemas soterrados a causa de un defecto térmico.
- Incremento de los valores para elegir e implementar nuevas técnicas de protecciones contras las elevadas intensidades de defecto.
- Las máquinas de transformación de energía eléctrica de los sistemas de potencia en las subestaciones deben operar corrientes de cortocircuito muy elevadas, las cuales provocan la disminución de la vida útil de la máquina.
- Defecto crítico en el sistema de transformación de distribución.

### **2.24.1 Métodos para disminuir las corrientes de corto circuito.**

Yebra (2021) asegura que, en la ingeniería de distribución de la energía eléctrica existen técnicas, que sirven para localizar, mitigar o disminuir las corrientes de defecto en los sistemas de distribución, esto se obliga ante el inminente aumento de potencia aparente en los sistemas eléctricos de distribución, los cuales conllevan a la generación de corrientes de cortocircuito de elevadas magnitudes, las cuales son peligrosas para el sistema, respecto de esto se pueden citar los métodos que se conocen para disminuir este tipo

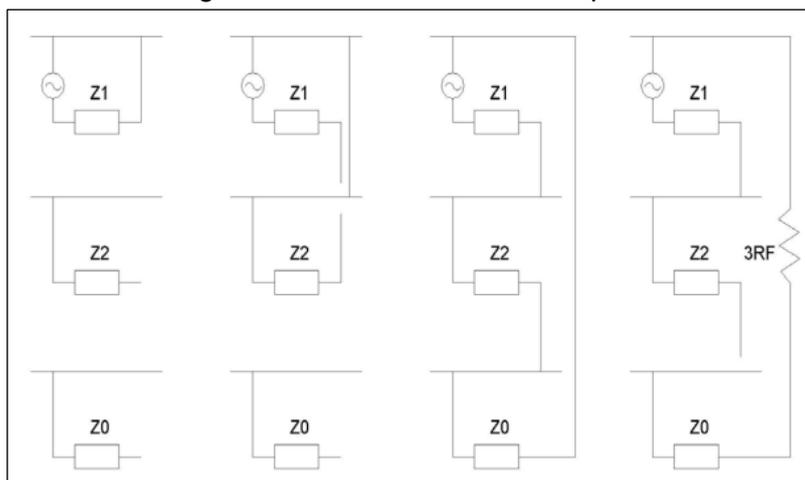
de falla en el sistemas, aplicarlos resultaría en el funcionamiento óptimo del sistema estos son:

- Limitar los niveles de falla del sistema de transmisión.
- Restringir la capacidad de las subestaciones y máquinas de transformación de potencia.
- Incluir varios ciclos de transformación.
- Maniobrar las máquinas de transformación de forma individual y no en paralelo.
- Utilizar reactores limitadores de intensidades o transformadores de muy alta impedancia.
- Utilizar reactores instalados en el neutro para restringir las intensidades de defecto monofásico.
- Empleo de tensiones elevadas para el sistema de distribución.
- Utilizar para la protección de los equipos, fusibles limitadores.
- Buena coordinación entre fusibles y equipos de reconexión.

## **2.25 Cálculo de la corriente de corto circuito.**

Según Nakashima (2020), automatizar y utilizar los cálculos de corto circuito es necesario en diferentes puntos de un sistema de distribución, obtener el equivalente de Thévenin en la bahía de bajo voltaje del centro de carga de potencia y a partir de este punto se empezará a realizar los diagramas de secuencia tomando en cuenta la impedancia de las partes lineales en el sistema, obteniendo así la impedancia equivalente como se muestra en el gráfico 19.

**Gráfico 19** Diagrama de secuencia de las impedancias



**Elaborado por:** Nakashima (2020).

El origen de las corrientes de corto circuito, es los defectos en los sistemas de distribución, estas corrientes son sustentadas por componentes activos como son los generadores, motores, etc. y está limitado a los componentes pasivos del sistema como los son las líneas de distribución, los condensadores, reactores y transformadores (Nakashima, 2020).

### **2.25.1 Procedimiento para el cálculo de corrientes de corto circuito.**

Yebra (2021) menciona que se pueden realizar cálculos tomando en cuenta varios pasos estos después del análisis y estudio de corto circuito, procedimientos para el cálculo:

- Realizar el esquema unifilar del sistema.
- Realizar los cálculos pertinentes de las impedancias de secuencia de la fuente.
- Determinar la magnitud de la impedancia de los alimentadores de cada circuito aéreo y soterrado.
- Obtener los valores de impedancia de secuencia positiva, negativa y cero.
- Selección de la impedancia de la falla.

### 2.25.2 Ecuaciones para el cálculo de corto circuito.

Según Yebra (2021), en el presente texto se disponen una serie de ecuaciones a continuación, importantes para el estudio de las corrientes de corto circuito en un sistema de distribución:

**Ecuación 11:** Corriente de corto circuito para una falla trifásica.

$$I = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f}$$

**Ecuación 12:** Corriente de corto circuito para falla entre dos fases.

$$I = \pm J \frac{\sqrt{3V_f}}{Z_1 + Z_2 + Z_f}$$

**Ecuación 13:** Corriente de corto circuito para falla de línea a tierra.

$$I = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f}$$

**Ecuaciones 14:** Determinación de la potencia de corto circuito.

$$kVA_{cc} = \frac{kVA_{Base}}{X_{p.u}}$$

$$kVA_{cc} = \frac{kVA_{Base} 100}{X_{\%}}$$

**Ecuaciones 15:** determinación de la corriente simétrica de corto circuito.

$$I_{cc} = \frac{kVA_{Base} 100}{\sqrt{3} KV X_{\%}}$$

$$I_{cc} = \frac{kVA_{Base}}{\sqrt{3} KV X_{p.u}}$$

$$I_{cc} = \frac{kV 1000}{\sqrt{3} X_{\Omega}}$$

**Ecuación 16:** Determinación de las corrientes de corto circuito asimétricas.

$$I_{cc} \text{ Asim} = I_{cc} \text{ Sim} \times \text{Factor asimetria}$$

$$kVA_{cc} \text{ Asim} = P_{cc} \text{ Sim} \times \text{Factor asimetria}$$

## **2.26 Protecciones del sistema eléctrico de distribución.**

Las protecciones eléctricas en un sistema de distribución, constan de un grupo de elementos cuyo objetivo principal es proteger las redes eléctricas y los equipos del sistema de distribución, para que estos elementos funcionen con precisión, deberán estar correctamente calibrados y coordinados, el desafío es detectar, localizar y aislar la falla de manera efectiva y permitir que el resto del sistema continúe funcionando con normalidad protegiendo a operadores, usuarios y equipos necesarios. (Silva & Verdezoto, 2020).

### **2.26.1 Protecciones eléctricas primarias.**

Las protecciones primarias son las que se aseguran de disipar el defecto de operación y determinar el mínimo número de componentes indispensables para encontrar el defecto de operación y neutralizar. Este tipo de protecciones implica separar las áreas de protección que están implícitas y estables en cada elemento de importante función, en el evento de generarse un defecto en el sistema, las protecciones primarias corregirán la falla despejándola, eso también implica el uso de herramientas diseñadas para la corrección de estos problemas, si ocurre una falla en el área de traslapa, las protecciones primarias actuarían de forma mucho más eficaz en la desconexión del área para poder dar solución a la falla las protecciones primarias, como su nombre lo indica, son las que deben actuar primero y de forma coordinada con las protecciones secundarias. (Kevin Ortiz, 2023).

### 2.26.2 Protecciones eléctricas de respaldo.

Las protecciones de respaldo son aquellas que actúan si se repite la falla nuevamente, para ser más explícitas estas protecciones actúan solo si se cumple la condición de que las protecciones primarias no eliminen la falla, es muy importante ante esto determinar la causa de la falla desde la protección primaria. El respaldo se realiza a menudo y se logra disponiendo de varios componentes de la fuente de alimentación (Kevin Ortiz, 2023).

### 2.27 Reconectores.

Un reconector es un dispositivo utilizado para desconectar cargas eléctricas con capacidad de reconectarlas proporcionando protección en los sistemas distribuidos de energía eléctrica, estos equipos tienen la capacidad de realizar detección de sobrecorriente, causando la apertura y cierre del equipo de forma automática para así energizar o desenergizar las líneas. Está equipado con una unidad de control que permite realizar varias conexiones adicionales, por lo tanto, si el error es permanente, el dispositivo de reinicio eventualmente se abrirá después de un cierto período (Perez, 2021).

**Gráfico 20.** Reconectores trifásico y monofásico.



**Elaborado por:** Guerrero (2022).

Las fallas por corto circuito son temporales; esto significa que, luego de determinado tiempo, desaparecen por sí solos, estadísticamente los sistemas de distribución de energía eléctrica tienen un porcentaje de falla del 80 al 95%. Los reconectores a menudo se utilizan para despejar fallas como el contacto entre cables y ramas impulsadas por el viento, árboles que toquen los conductores, contacto de aves con las redes y base de los aisladores o estructuras y fallas de corto circuito en la línea o falla de fase a tierra (Guerrero, 2022).

En resumen, la principal función del reconector es distinguir el daño temporal indicando el momento en que ocurrió la primera falla, que aparece a través de sucesivas reconexiones o, si es constante, entonces se borrarán automáticamente al reiniciar el dispositivo, aunque el reconector realice la operación de interrumpir la corriente.

El problema es similar a un interruptor, la diferencia es que de ahí el hecho de que el primero tiene un poder menor que el disyuntor, su uso suele limitarse a redes rurales o suburbanas donde hay densidad, la demanda no es alta y la corriente de corto circuito que debe de eliminarse es menor (Guerrero, 2022).

### **2.27.1 Características técnicas de los Reconectores.**

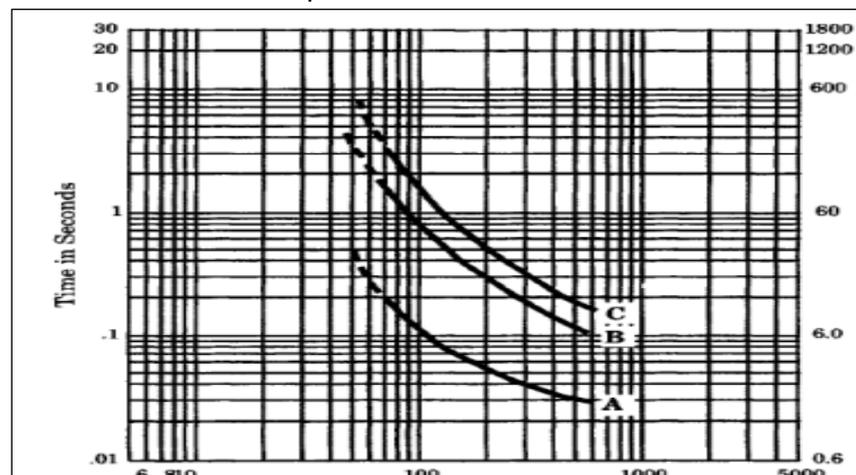
Guerrero (2022) menciona que los equipos de reconexión, como todos aparatos y dispositivos eléctricos, tienen algunas características en común considerando que el fabricante cumpla con los requisitos especificados en normas, hay que tener esto en cuenta al elegir un reconector óptimo para su instalación en el sistema, a continuación, se enlistan algunas características técnicas que deben tenerse en cuenta:

- Voltaje máximo del equipo y en el relé el voltaje nominal.
- Intensidad de corriente eléctrica nominal.
- Frecuencia en la que opera (60 Hz en Ecuador).
- Corriente mínima de falla en los reconfiguradores hidráulicos.
- Valor máximo de corriente de corto circuito.
- Voltaje máximo resistido al impulso.
- Contador de cantidades de operaciones que realicé.
- Protección IP de la norma IEC 60529.

### 2.27.2 Secuencia de operación.

Dentro de las especificaciones de tiempo e intensidad, las curvas A del reconfigurador, corresponden a una apertura o desconexión rápida, mientras que las curvas B y C pertenecen a las aperturas o desconexiones mayormente demoradas, normalmente los equipos de re configuran están configurados para tener dos operaciones, la primera en estado de curva A y la curva B y C son para asegurar una coordinación óptima con otros dispositivos de seguridad.

**Gráfico 21.** Curva de *operación* de un reconfigurador.



Elaborado por: Guerrero (2022).

### 2.27.3 Curvas IEEE C37.112

La ecuación 17 define las curvas mencionadas en la norma IEC, y la Tabla 5-X contiene los valores que las definen. Esta norma llama a las curvas "moderadamente inversas" en este caso. "muy invertida" y "extremadamente invertida" (Guerrero, 2022).

#### Ecuación 17: Determinación de curvas IEEE

$$t(I) = dia * \left( \frac{A}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^p - 1} + B \right) \quad [Ec. 57]$$

Donde:

- El tiempo de actuación de la corriente I es t(seg).
- La corriente de mínima actuación regulable se conoce como Is (A).
- La corriente de falla que impulsará al reconectado en el tiempo (t) se conoce como I(A).
- El grado de característica inversa de la curva se determina por alfa y beta.

**Tabla 6:** 5-X. Valores de A, B y p aplicables para obtener las curvas IEEE C37.112.

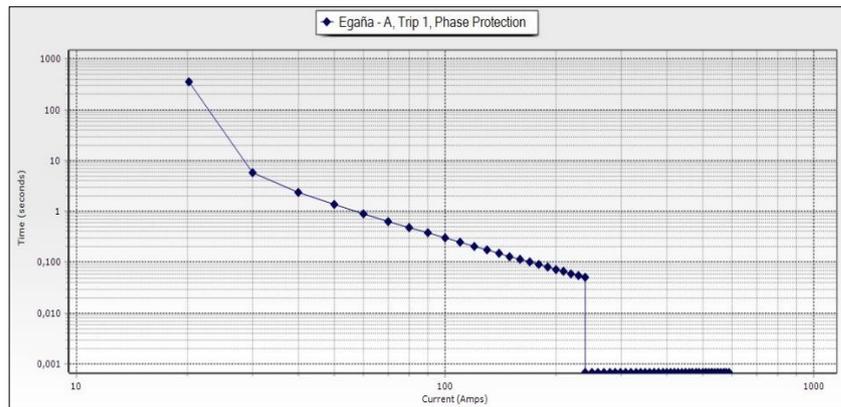
Tipo de curva	A	B	p
Moderadamente inversa	0,0515	0,114	0,02
Muy inversa	19,61	0,491	2
Extremadamente inversa	28,2	0,1217	2

**Elaborado por:** Guerrero (2022).

La curva ajustada de un reconectador de CEDEL, que tiene una combinación de una característica de corriente definida y una característica de tiempo-corriente IEC extremadamente inversa. (Guerrero, 2022).

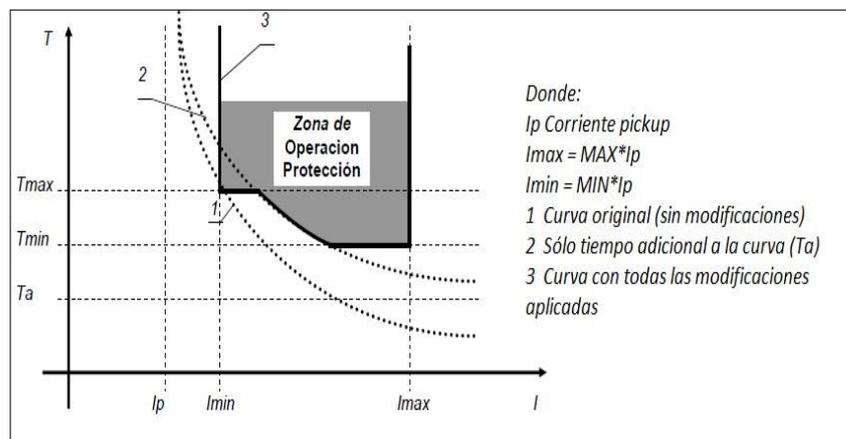
- Tiempo mínimo definido ( $T_{min}$ ).
- Tiempo de disparo máximo ( $T_{m\acute{a}x.}$ ) (solo en algunos modelos).
- Multiplicador de corriente mínima (MIN).
- Multiplicador de corriente máxima (MAX) (solo en algunos modelos).

**Gráfica 22.** Curva de actuación de los reconectador de CEDEL.



**Elaborado por:** Guerrero (2022).

**Gráfica 23.** Curva de actuación de reconectador.

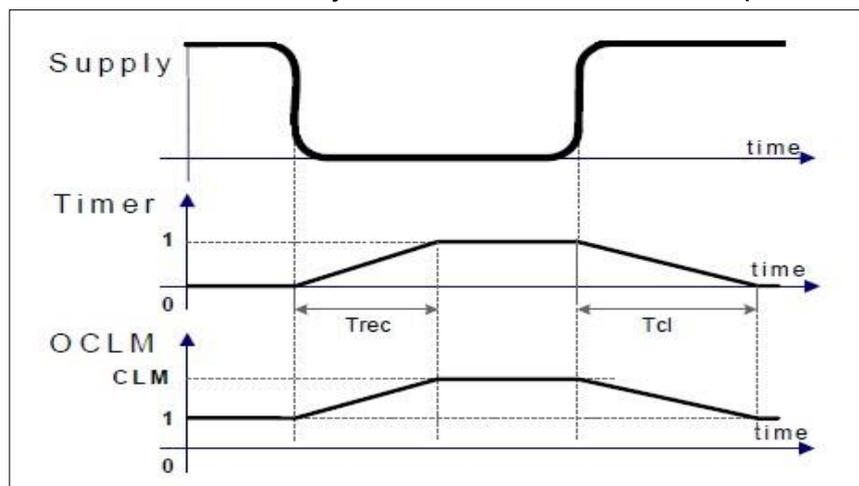


**Elaborado por:** Guerrero (2022).

## 2.28. Detección de arranque en frío.

Cuando la alimentación de una red se pierde y luego se reenergiza, ocurre una pérdida de diversidad que resulta en una sobreelevación de la corriente al momento de la reenergización. Agregando un multiplicador a la corriente de actuación durante un tiempo determinado, este ajuste del reconectador evita que se abra ante una sobrecorriente. (COMSYS, 2022).

**Gráfica 24.** Gráfico del ajuste de un reconectador arranque en frío.



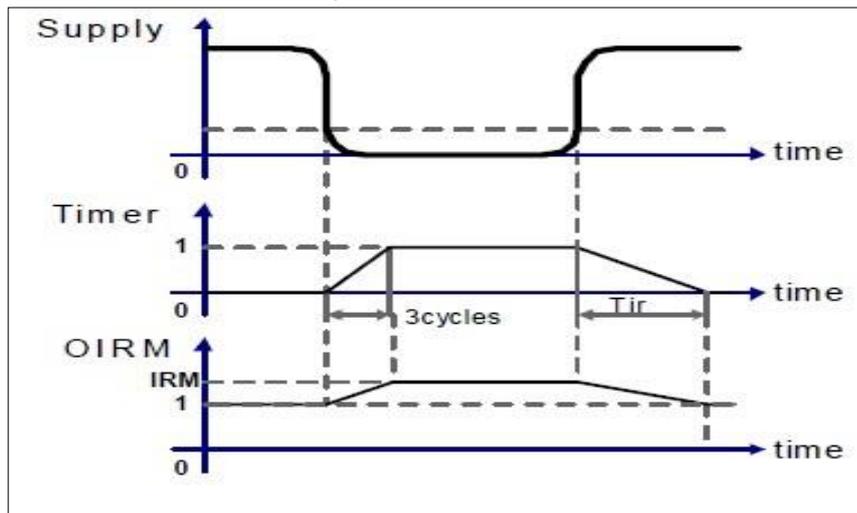
**Elaborado por:** Guerrero (2022).

Al desenergizarse el sistema comienza un tiempo de reconocimiento, este valor es el correspondiente al tiempo definido previamente por el usuario, se considera que la energización de la red será la correspondiente a un arranque frío, por lo que en ese instante se activará el Multiplicador de Carga Fría, CLM, definido por el usuario, y estando el mismo activo hasta que se energiza nuevamente el sistema y se normaliza el servicio (tiempo  $T_{cl}$ ), esto hace que el reconectador vuelva a su estado inicial reiniciando sus sistemas de funcionamiento ante fallas reconectado el sistema de forma automática (Castelblanco & Gonzales, 2022).

## 2.29. Restricto de Corrientes de inrush

Este ajuste impide que el reconectador actúe durante un breve período cuando cierra y energiza una red o sistema, lo que provoca corrientes de inrush elevadas de transformadores, bancos de capacitores y arranque de motores, entre otros equipos. (Guerrero, 2022).

**Gráfico 25.** Gráfico del ajuste para la corriente de inrush.



**Elaborado por:** Guerrero (2022).

Cuando el sistema se desenergiza, el reconectador crea un multiplicador para la corriente de actuación, IRM, que se define y activa por el usuario en tres ciclos, de manera similar al arranque en frío (Guerrero, 2022).

## 2.30. SECCIONALIZADORES Y FUSIBLES

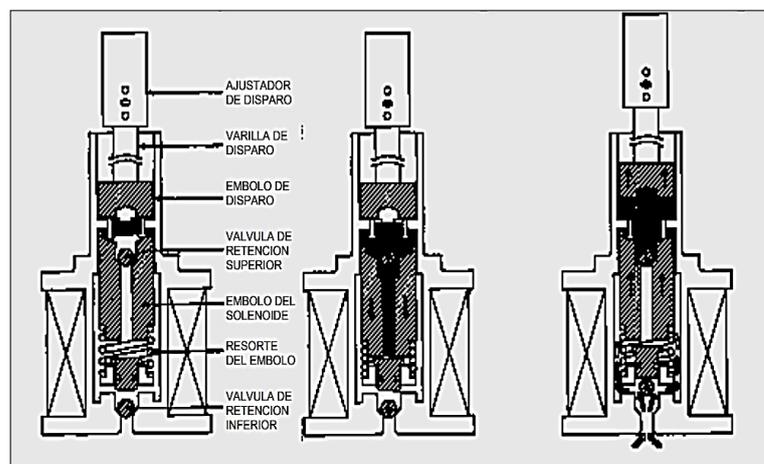
El seccionalizador es un dispositivo de protección que aísla automáticamente las fallas en una línea de distribución aérea, pero su funcionamiento está relacionado con el funcionamiento de un reconectador instalado aguas arriba a diferencia del equipo convencional, este actúa con un elemento de protección que al paso de la sobreintensidad se funde provocando la apertura del equipo (Guerrero, 2022).

El principio de funcionamiento del dispositivo es el siguiente: cuando una corriente, ya sea de sobrecarga o cortocircuito, circula más allá de un valor mínimo de operación establecido en el seccionizador, el dispositivo comienza a contar la cantidad de aperturas del reconectador aguas arriba asociado. (Guerrero, 2022).

### 2.30.1 Seccionizadores con control hidráulico

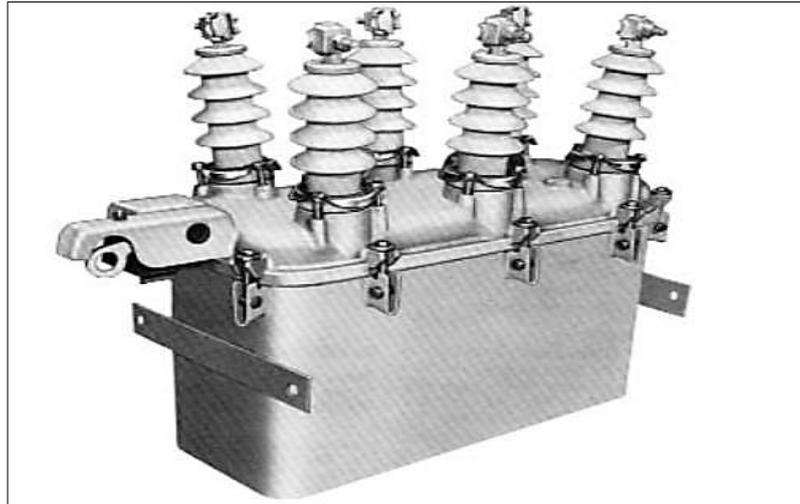
El mecanismo de este tipo de equipo está compuesto por una bobina solenoide, un émbolo solenoide, un resorte, un émbolo de disparo y dos válvulas de retención. En estos equipos con control hidráulico, cuando la corriente que fluye a través del seccionizador excede el 160% de la capacidad de corriente nominal de la bobina, el émbolo del solenoide se atrae hacia abajo y el resorte se comprime. El aceite sube simultáneamente al espacio vacío dejado por el émbolo. Cuando el reconectador aguas arriba interrumpe la corriente de falla, la corriente a través de la bobina del seccionizador se interrumpe y el resorte empuja el émbolo del solenoide hacia arriba a su posición inicial. (Guerrero, 2022).

**Gráfica 26** Mecanismo de un seccionizador hidráulico



Elaborado por: Guerrero (2022).

**Gráfica 27** Seccionalizador con control hidráulico



**Elaborado por:** Guerrero (2022).

### **2.30.2. Seccionalizadores con control electrónico**

Estos dispositivos tienen una base portafusible similar a la que se utiliza en los fusibles de expulsión. En esta base se encuentra un tubo (tres en la versión trifásica) que contiene un circuito electrónico alimentado por dos bobinas toroidales. Una de las bobinas toroidales capta la corriente del circuito para que el circuito electrónico la analice, mientras que la otra carga un capacitor que genera la energía de actuación. (Guerrero, 2022).

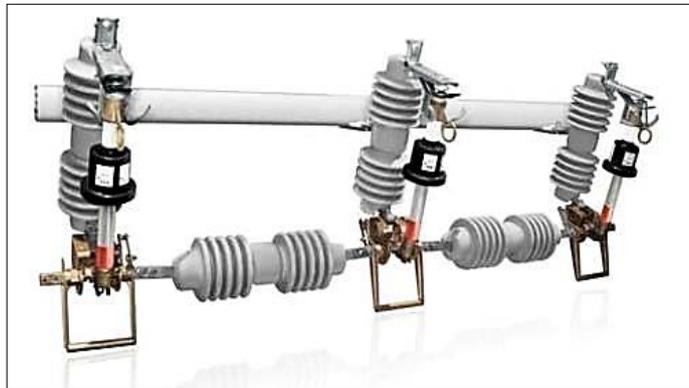
El circuito electrónico cuenta las operaciones de apertura del reconectador aguas arriba y analiza la corriente de falla de la red de media tensión, que es la corriente que disminuye a través de la bobina toroidal, si las operaciones de apertura del reconectador llegan al valor configurado para el seccionalizador, el circuito electrónico realiza la apertura mecánica del seccionalizador desconectado el sistema y de forma automática a través del relé de control para rearmarse y ponerse en funcionamiento manteniendo los parámetros de protección (Guerrero, 2022).

**Gráfica 28.** Seccionalizador monofásico de ABB.



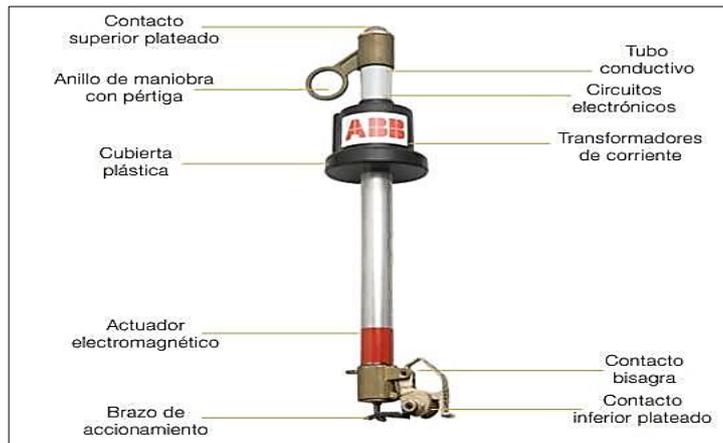
Elaborado por: Guerrero (2022).

**Gráfica 29.** Seccionalizador trifásico Autolink de ABB.



Elaborado por: Guerrero (2022).

**Gráfico 30.** Partes de un seccionalizador Auto de ABB.



Elaborado por: Guerrero (2022).

**Gráfico 31.** Especificaciones técnicas de seccionadores de ABB.

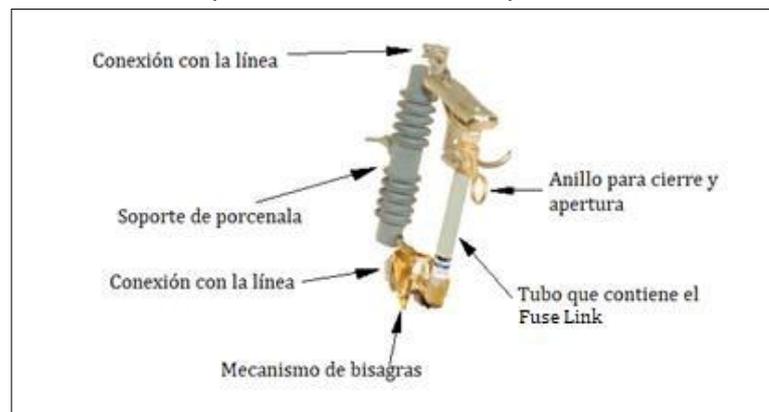
Especificaciones Técnicas			
Modelo		AL32	AL34
Tensión Nominal	kV	27	27
Tensión resistida frec ind 10 seg húmedo	kV	50	60
Tensión resistida frec ind 1 min seco	kV	60	70
Nivel de Aislación	kV BIL	125	150
Frecuencia	Hz	50 / 60	50 / 60
Corriente Nominal	A	200	200
Corriente de Actuación	A	6 - 215	6 - 215
Número de conteos previo a la operación	No.	1 - 4	1 - 4
Corriente de Cortocircuito, 1 s (eficaz)	kA	4	4
Corriente de cortocircuito asimétrica (valor pico)	kA	10	10
Detección de Línea Muerta	mA	< 200	< 200
Reseteo de Memoria en condiciones nominales	seg	30	30
Tiempo máximo de mantenimiento de memoria	min	3,5	3,5

**Elaborado por:** Guerrero (2022).

### 2.30.3. Fusibles de expulsión

Los dispositivos más simples para proteger contra sobrecargas y cortocircuitos son los fusibles. Un fusible, o elemento fusible, es un material conductor que normalmente transporta corriente de carga. Cuando circula una corriente elevada, se funde, produciendo un arco eléctrico. Existe una amplia gama de fusibles que incluyen fusibles de gran o baja capacidad de ruptura, fusibles de media o baja tensión, etc., pero en esta sección del trabajo nos concentraremos en los fusibles de expulsión. (Guerrero, 2022).

**Gráfico 32.** Esquema de fusible de expulsión.



**Elaborado por:** Guerrero (2022).

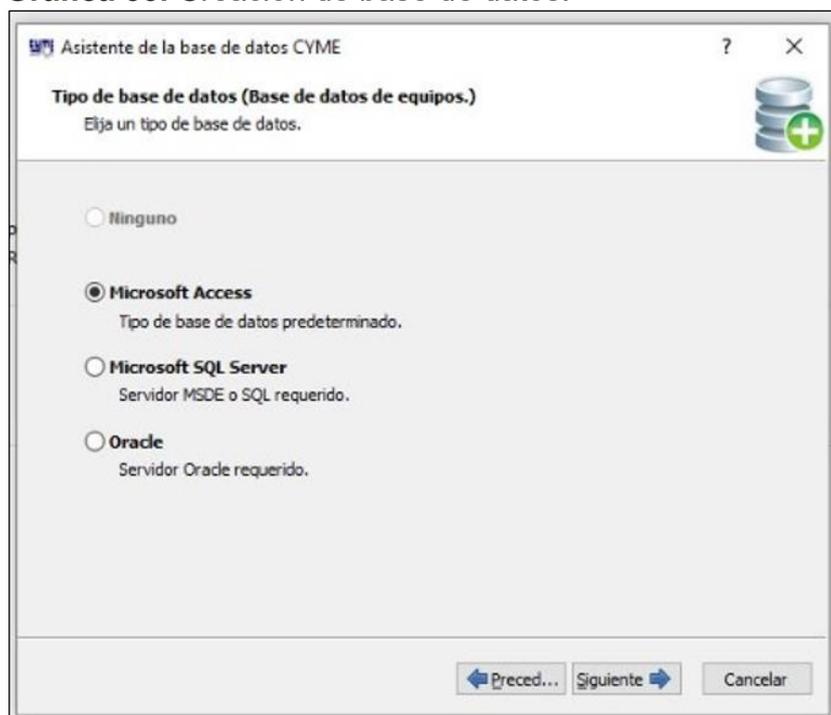
## CAPITULO III

### ANALISIS Y DESARROLLO

#### 3.1 Ingreso y creación de base de datos en software CYME 9.1

Para empezar a realizar el estudio de los parámetros que exige la coordinación de las protecciones en el alimentador Progreso, necesitamos trabajar en formatos TXT o archivos AQUIS, esto nos permitirá migrar o sacar información del programa de georeferenciamiento ArcGIS y plasmarlo en el CYMDIST, para evitar dibujar las redes, los alimentadores y los sectores, en el programa se deben crear bases de datos con información técnica en formato AXES con el cual se opera en la empresa de distribución de energía eléctrica.

**Gráfica 33.** Creación de base de datos.



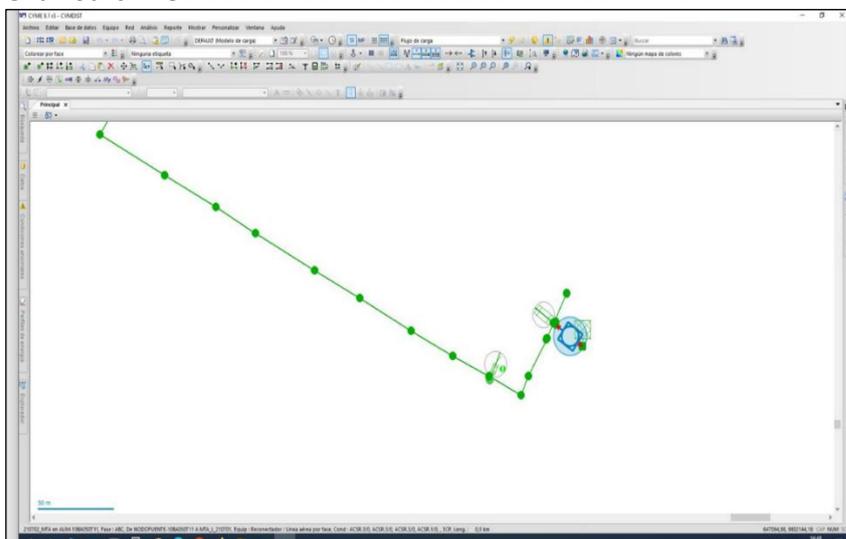
**Elaborado por:** Tnlg. Edgar Zúñiga software CYMDIST.

### 3.2 Ubicación de los equipos de reconexión.

A lo largo del alimentador Progreso tenemos tres puntos donde se realizará la instalación de los reconectores uno por cada punto, estos equipos se los ubicará estratégicamente bajo el criterio de instalación en zonas o áreas con mayor cargabilidad, es decir su ubicación depende de la potencia aparente que maneje el sector, en el programa podemos ubicar el alimentador y los equipos, marcándolo para poder ingresar lo datos característicos es importante esto porque nos permitirá controlar los escenarios de uso.

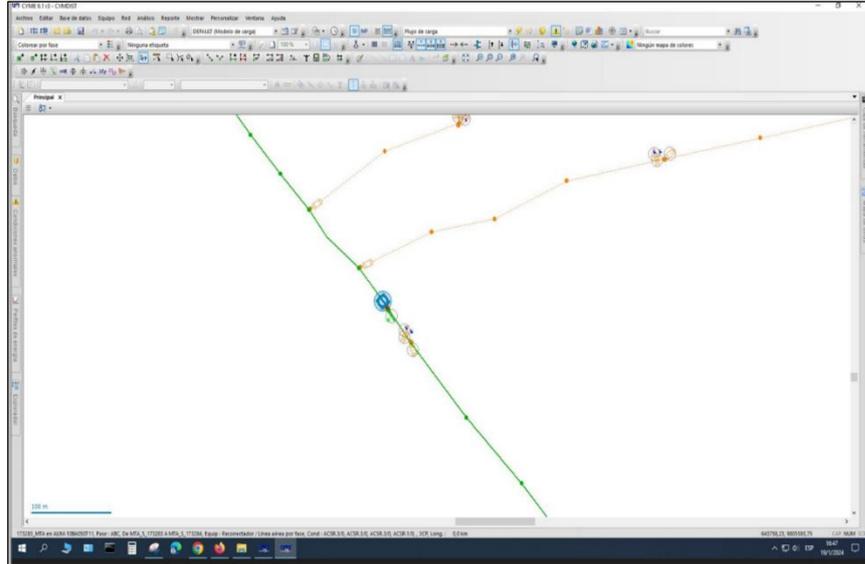
Los reconectores estarán ubicados en la cabecera del alimentador en la parte central de Baba, el segundo estará ubicado en el recinto la Chiflera el ultimo estará ubicado en el recinto la Francia, siendo las coordenadas del reconector de cabecera X:647445; Y:9802020; las coordenadas del reconector del recinto la Francia las siguientes coordenadas X: 644426; Y:9804128 las coordenadas del reconector de la Chiflera: X: 643761; Y:9805410.

**Gráfica 34.** Ubicación del reconector de cabecera.



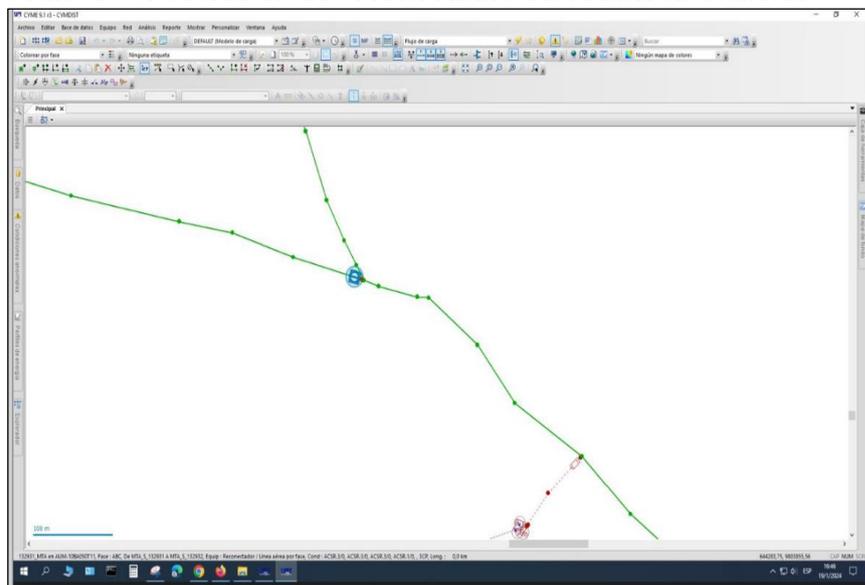
**Elaborado por:** Tnlg. Edgar Zúñiga software CYMDIST.

**Gráfica 35.** Ubicación de reconector de recinto la Francia.



**Elaborado por:** Tnlg. Edgar Zúñiga software CYMDIST.

**Gráfica 36.** Ubicación de reconector del recinto la Chiflera.

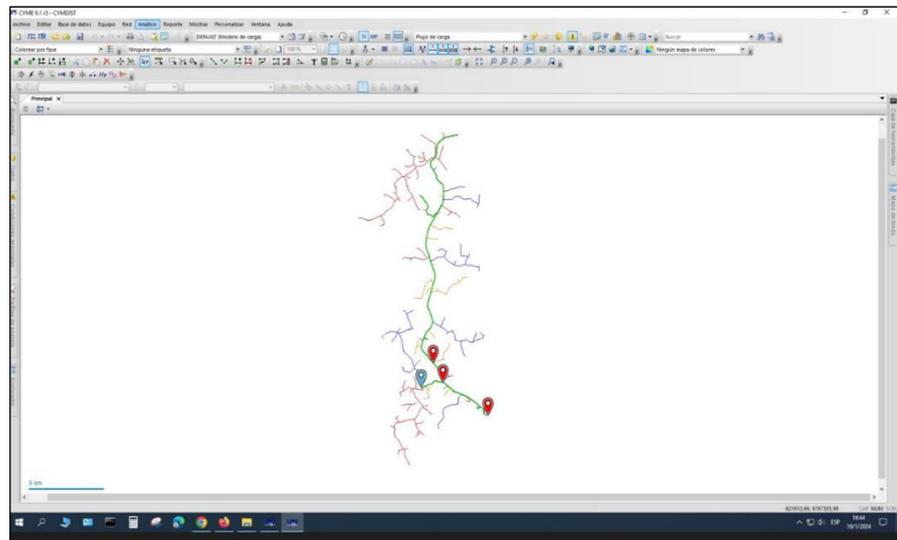


**Elaborado por:** Tnlg. Edgar Zúñiga software CYMDIST.

Las gráficas son de las simulaciones de las posibles ubicaciones de los reconectores adoptando el criterio de instalación en zonas de mayor población, con esto podemos realizar aperturas y cierras de los mismos simulando la falla común que presenta el alimentador que es de fase a tierra producida por la vegetación.

El análisis nos lleva a entender que las instalaciones de estos equipos en el alimentador se producen por el tipo de falla recurrente que existen en el sistema, cuando estas fallas se producen, se elevaban los indicadores de calidad como lo son el TTIK y FMIK, estos equipos reducirán estos tiempos y la frecuencia, tal como se aprecia en la gráfica 37.

**Gráfico 37.** Posicionamiento de los reconector en el alimentador.



**Elaborado por:** Tnl. Edgar Zúñiga software CYMDIST.

### 3.3 Distribución de carga en CYMDIST 9.1.

La demanda de carga del alimentador Progreso es de 1720 kVA con un factor de potencia de 0.86, en estos dos últimos meses la cargabilidad en el alimentador ha aumentado en un 8%, esto es importante saber por qué la distribución de carga se la hace por cada kVA conectado a la red de distribución, según estos datos, hoy se tiene una cargabilidad en el alimentador aproximada de 1857,6 kVA instalados, existen cuatro formas de determinar la distribución de carga en el alimentador.

- Capacidad conectada en kVA.
- Consumo por kilovatios amperios.
- REA.

- Carga real de la red.

Un punto importante en la distribución de carga de este alimentador que tenemos conectado a la red un banco de capacitores, el programa siempre da advertencia en el caso de encontrarse con estos factores, si se desea hacer el cálculo de la distribución de carga ignorando los capacitores o dejándolos conectados, en nuestro estudio para este alimentador de preferencia, desconectamos el banco de capacitores solo para que el programa haga la distribución de carga mediante el método de capacidad conectada en kVA, una vez realizada la distribución de carga por parte del programa, se procede a conectar los capacitores nuevamente.

#### **3.4. Análisis de flujo de carga con CYMDIST 9.1.**

Una vez realizada la distribución de carga, se verifica que el flujo de carga que se reporta en el SCADA sea igual con las mediciones de campo, con esto al hacer el análisis se puede apreciar si se realizó o no la migración de las redes o si el departamento de georeferenciamiento ha realizado un buen levantamiento y la información que tiene sus bases de datos es óptima, verificamos en el relé los datos de las corrientes del reconector de cabecera para saber si está bien faseamiento, gracias a las desconexión del banco de capacitores en la fase de distribución de carga notamos que en el alimentador tenemos bajo factor de potencia, entonces es necesario conectarlo, tenemos un desbalance en la fase b, de 40 amperios debido a un ramal monofásico que se dirige al recinto la Carmela, este estudio es importante para el planteamiento de la expansión futura del sistema de distribución así como determinar la mejor operación en los sistemas existentes, la principal información obtenida del análisis de flujo de carga es la magnitud y el ángulo

de la fase del voltaje en cada nodo y la potencia activa y reactiva fluyendo en cada línea ayudado a sobresalir de una fase de puesta a tierra, se considera la afectación de los siguientes recintos: Progreso, la Chiflera, la Francia y la Carmela.

En este caso, como no tenemos mediciones a nivel de distribución ósea en los ramales, debemos verificar la corriente de carga de los reconectores en cada punto para saber dónde están ubicados y la ubicación de los fusibles para hacer el análisis de coordinación de protecciones, para poder dimensionar bien los fusibles o evitar que se disparen por sobrecarga los reconectores, si necesitamos la demanda de carga instalada en cada punto.

### **3.5. Estudio de protecciones.**

La Unidad de Negocio Los Ríos, con un área de 4009,97 km<sup>2</sup> y comas de 143.399 clientes, se enfoca al mejoramiento de los índices de calidad y en la continuidad del servicio eléctrico, los estudios de protecciones de sobre corriente en el Alimentador Progreso de la Subestación Baba; utilizando como herramienta principal el software CYMDIST más la información de las líneas de distribución previamente levantadas en ARCGIS.

#### **3.5.1. Datos Para el estudio.**

La Unidad de Negocio Los Ríos cuenta con tres bahías en el punto de entrega de CELEC EP TRANSELECTRIC a nivel de 69 kV, los cuales alimentan actualmente a 10 subestaciones de distribución, con un voltaje de 13,8 kV; con una demanda máxima aproximada de 95 MW, además se cuenta con dos generadoras hidroeléctricas central Marcel Laneado de Wind que está conectada a la S/E Cedegé y otra que es central Hidro Sibimbe conectada a la S/E Ventanas; las mismas que en época de máximo caudal aportan hasta

16 MW de generación, lo que contribuye en el mejoramiento del voltaje en las zonas lejanas del área de concesión.

El alimentador Progreso suministra energía a las zonas rurales del cantón Baba y zonas aledañas. La demanda máxima actual del alimentador es de 1.62 MW, Fp: 0.90. Este alimentador cuenta con la posibilidad de transferir su carga con el alimentador Baba de la S/E Baba y con el alimentador Isla de Bejucal de la S/E Vinces. El alimentador Progreso posee una extensión aproximada de 135,65 km desde el Recinto Bagatela, Guare hasta sus sectores aledaños; las derivaciones de este alimentador arrancan con líneas monofásicas y trifásicas de distribución con neutro corrido, este alimentador es de tipo residencial rural con su carga concentrada a lo largo de su alimentador.

### **3.5.2. Estado actual de la coordinación de protecciones.**

En la actualidad, el estudio de coordinación de protecciones de sobrecorriente a nivel de subtransmisión se encuentra implementado al 100%; a nivel de distribución, en los alimentadores existe una coordinación entre el alimentador de cabecera y arranques de ramales con fusibles de capacidad hasta 65 amperios y los alimentadores que cuentan con reconectores a mitad de línea están coordinados aguas abajo con fusibles hasta de 40 amperios es importante indicar que también existe una coordinación entre reconector y reconector.

Los estudios de coordinación de protecciones de sobrecorriente a nivel de distribución los he realizado en su totalidad, existiendo una selectividad en los arranques de los ramales principales, aunque en ocasiones cuando se produce una falla, en estos hay momentos que provocan que opere la

protección principal en la cabecera del alimentador, esto se debe a que los grupos encargados de la operación del sistema no colocan el fusible adecuado en los ramales.

### **3.6. Mejoras en el sistema.**

Se realizará el estudio de coordinación de protecciones de sobrecorriente considerando el primer fusible de cada derivación, el mismo que debe coordinar con la protección de sobrecorriente de la cabecera del alimentador Progreso, además en los ramales extensos se considerará un nuevo fusible con la finalidad de zonificar de mejor manera las áreas de protecciones, este fusible deberá coordinar con el fusible de protección instalado en el arranque de la derivación, para esto se determinan las siguientes mejoras gracias a los análisis realizados :

- En los ramales que alimentan los recintos de Progreso, a un solo transformador se dimensionará el fusible para la capacidad de carga del transformador, en caso de que no exista caja portafusible en el arranque, se sugerirá la instalación de una.
- Para los ramales que tengan dos o tres transformadores que no tengan carga significativa, se dimensionará el fusible para la carga instalada en el arranque del ramal.
- En caso de existir un ramal alimentado de la misma caja porta fusible del transformador, se solicitará independizar las protecciones.
- Se debe definir el número de operaciones que realizarán los reconectores de ser necesarios.
- La coordinación fusible – reconector debe tener tiempo de actuación de 0.2 segundos.

### 3.6.1. Estudio de cortocircuito.

En este estudio se implementará el modo de cálculo con niveles de cortocircuito en todos los nodos y barras dominio de secuencia, que calcula la corriente de cortocircuito total en todas las barras y nodos usando el método convencional. Las ecuaciones para el cálculo de las corrientes de cortocircuito son las siguientes:

**Ecuación 16:** Corriente de corto circuito para una falla trifásica.

$$I = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f}$$

**Ecuación 17:** Corriente de corto circuito para una falla monofásica

$$I_{IG} = \frac{3 * V}{2Z_1 + Z_0 + 3Z_g}$$

Para el estudio se consideró 14 seccionamientos a lo largo del alimentador ubicados en los ramales monofásicos y trifásicos del alimentador.

### 3.7. Criterios de coordinación de protección de Sobre corriente.

#### 3.7.1. Coordinación Fusible-Fusible.

Para obtener una buena coordinación entre fusibles, se debe cumplir que la relación de acuerdo al estudio se utilizará fusibles con factor K para compensar el efecto de calentamiento y enfriamiento sufrido por el fusible debido a las operaciones rápidas de disparo y recierre del restaurador.

$$\frac{\text{Tiempo de despeje maximo del fusible protectot}}{\text{Tiempo de fusion minimo del fusible protegido}} \times 100 \leq 75$$

A su vez, se pueden utilizar tablas de coordinación, las cuales son seleccionadas de acorde al tipo de fusible que se va a utilizar, en nuestro caso, como Unidad de Negocio, utilizamos fusibles tipo K.

**Gráfica 38** Posicionamiento de los reconectores en el alimentador.

FUSIBLES DE PROTECCION	FUSIBLES PROTEGIDOS (RESPALDO)													
	8K	10K	12K	15K	20K	25K	30K	40K	50K	65K	80K	100K	140K	200K
	CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO MAXIMA DE COORDINACION (AMPERES)													
6K		190	350	510	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
8K			210	440	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
10K				300	540	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
12K					320	710	1050	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
15K						430	870	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
20K							500	1100	1700	2200	2800	3900	5800	9200
25K								660	1350	2200	2800	3900	5800	9200
30K									850	1700	2800	3900	5800	9200
40K										1100	2200	3900	5800	9200
50K											1450	3500	5800	9200
65K												2400	5800	9200
80K													4500	9200
100K													2000	9100
140K														4000

Elaborado por: CENASE

### 3.7.2. Coordinación reconector – Fusible.

**Gráfica 39.** Coordinación reconector – Fusible.

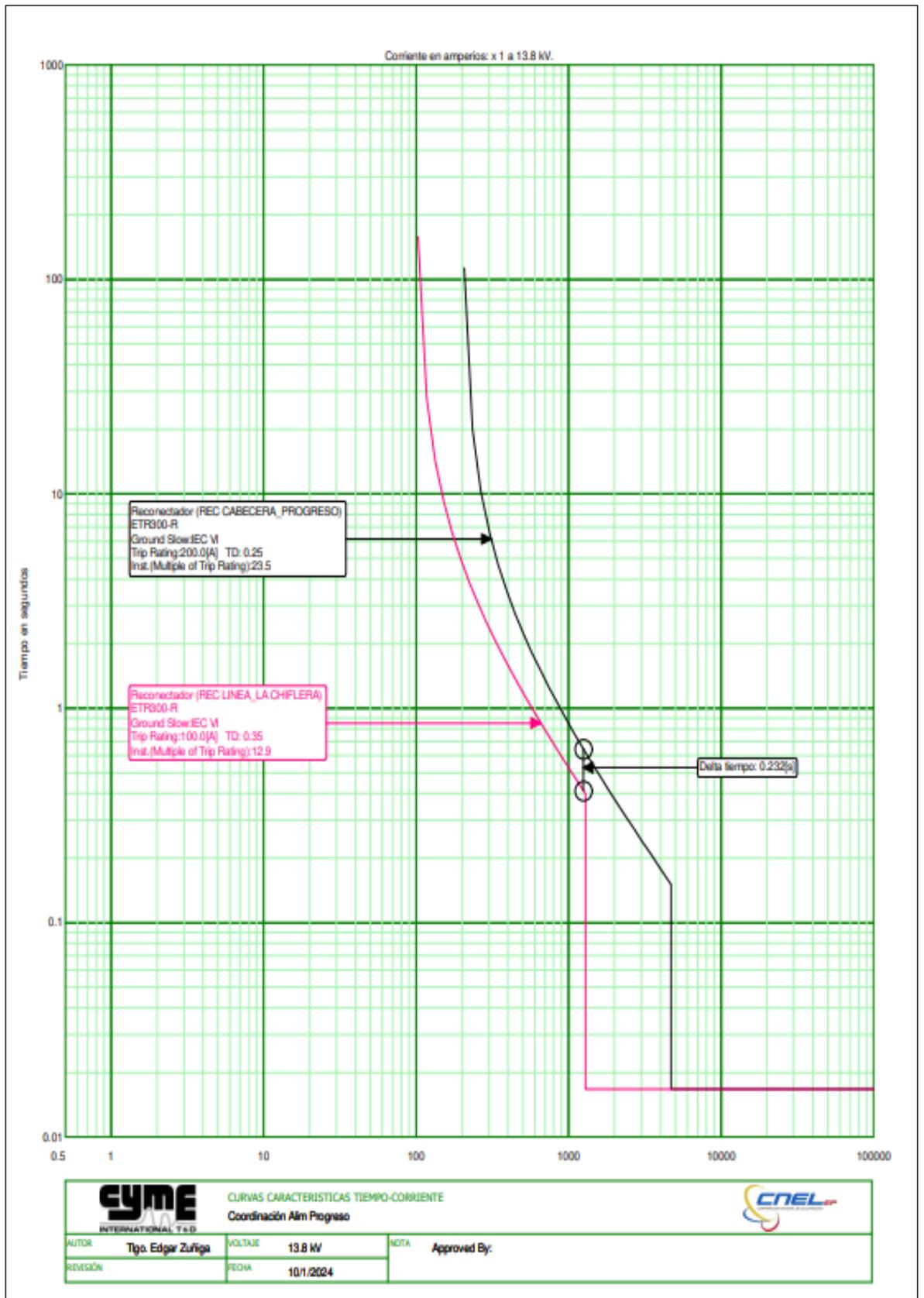
Downstream	Upstream			
	Fuse	Low-voltage breaker	Electro-mechanical relay	Static relay
Fuse	CS <sup>b,c</sup>	CS	0.22 s	0.12 s

Elaborado por: Tnlg. Edgar Zúñiga software CYMDIST.

Los tiempos de coordinación de fusibles con el elemento aguas arriba debe ser mayor a 120 ms como recomienda la norma ANSI-IEEE.

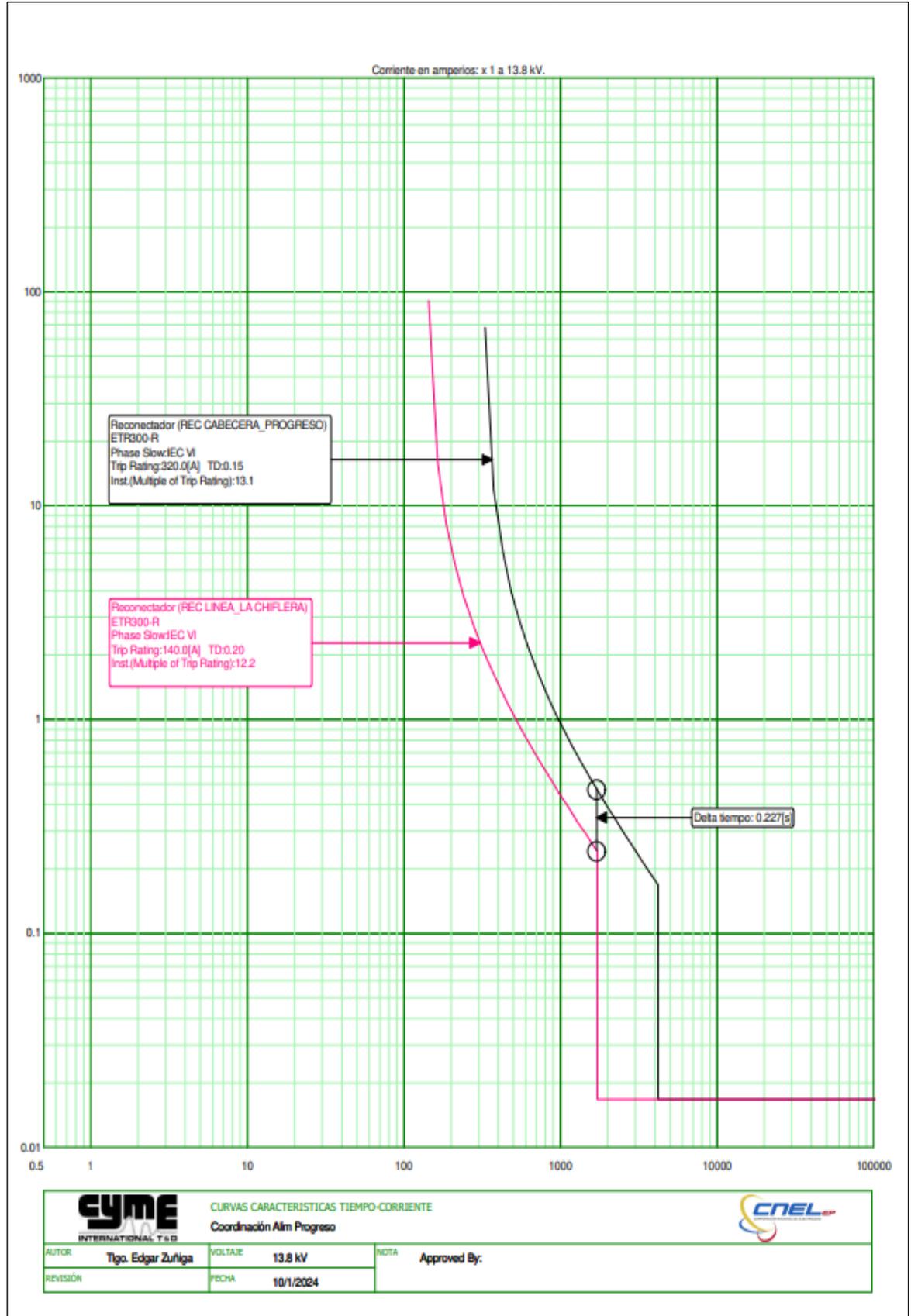
Es importante indicar que se podría contemplar seccionadores para ramales, ya que censan una corriente de falla que circula por ellos muy elevada y el número de aperturas del reconector de acuerdo al estudio se requiere un margen de tiempo de 0.2 segundos entre sus curvas ,características tiempo-corriente para la máxima corriente de falla común a ambos dispositivos de esta manera, abrir el circuito o en su reconectores monofásicos las mismas se puede apreciar en las gráficas 40 – 41.

**Gráfica 40** TCC reconector de cabecera – reconector de línea 30K.



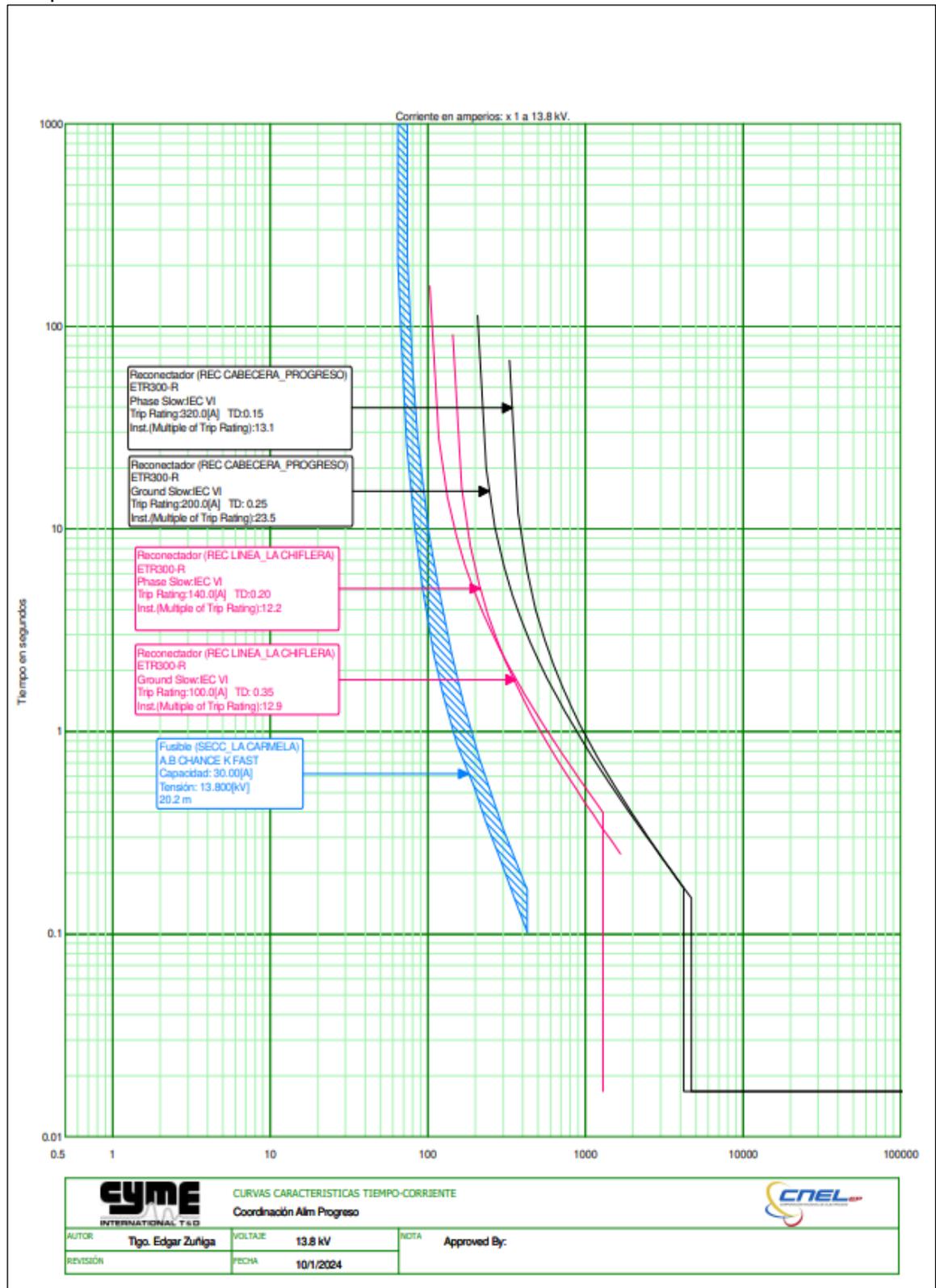
Elaborado por: Tnlg. Edgar Zúñiga software CYMDIST.

**Gráfica 41** TCC\_Rec Cabecera - Rec línea\_ Alim Progreso Tiempo Coor Fase.



**Elaborado por:** Tnlg. Edgar Zúñiga software CYMDIST.

**Gráfica 42.** TCC reconector de cabecera – reconector de línea 30K coord. línea tiempo.



Elaborado por: Tngl. Edgar Zúñiga software CYMDIST.

## **CAPITULO IV**

### **4.1. CONCLUSIONES**

- Se realizó la recopilación de información determinante para el estudio de coordinación de protecciones y se obtuvo que la demanda de potencia aparente es de 1720 kva con un factor de potencia de 0.86 en horas pico.
- Se analizó los datos obtenidos en las horas de mayor demanda del alimentador mediante el método de kva instalados, a través del software CYMDIST, se hizo la simulación de distribución de carga, teniendo en máxima demanda el alimentador, es decir con el banco de capacitores conectados y migrada las líneas, se obtiene un incremento del 8% de carga, teniendo en el alimentador 1857,6 kva.
- Se analizó en el flujo de carga y permitió ver el estado de las redes teniendo un desbalance de carga en una de las fases, este desbalance es de 40 amp y actúa como dato importante para el estudio de corriente cortocircuito.
- Se elaboraron diagramas de curvas características de los tiempos de coordinación entre Fusible – Reconectador, el cual debe ser mayor a 120 ms en el punto del elemento a coordinar y de 0.2 segundos para la máxima corriente de falla común.

### **4.2. RECOMENDACIONES.**

- Antes de instalar un reconectador, se debe realizar un estudio de índice poblacional, para determinar el impacto de los fallos eléctricos en el sistema de distribución.
- Para realizar el estudio de carga, se lo deberá realizar solo con la carga de la potencia aparente en el sistema no deben existir otras cargas conectadas.

## CAPITULO V

### 5.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Autonell, J., Balcells, J., Barra, V., Brossa, J., Fornieles, F., Garcia, B., & Ros, J. (2018). *EFICIENCIA EN EL USO DE LA ENERGIA ELECTRICA*. Barcelona, España: LEXUS.
- Barrero, F. (2018). *Sistemas de energia electrica*. (THONSON, Ed.) Madrid, España: Paraninfo.
- Bichels, A. (2018). *Sistemas Electricos de Potencia Metodos de Analisis y Solucion*. Curitiba, Parana, Brasil: EDUTFPR.
- Carpio, J., Miguez, J., Guirado, R., & Inclan, J. (2018). *Alimentacion de cargas criticas y calidad de la energia electrica*. Madrid, España: Universidad Nacional de Educacion a Distancia.
- Castelblanco, B., & Gonzales, J. (2022). *Metodologia para el analisis de flujo de carga y falla de baja impedancia en sistemas de distribucion con generacion distribuida bajo estandar ANSI utilizando software DigSILENT [Tesis de Ingenieria, Universidad Distrital Fransisco Jose de Caldas]*. Repositorio Institucional, <http://hdl.handle.net/11349/31331>
- COMSYS. (2022). *Calidad de energia IEEE 519-2022*. <https://comsys.se/our-adf-technology/power-quality-ieee-519-2022/>
- Cornejo, A., Arroyo, J., Millano, F., Alguacil, N., Polo, J., Garcia, R., . . . Lopez, L. (2018). *INSTALACIONES ELECTRICAS*. Madrid, España: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U.
- Encala, K., & Tonato, M. (2023). *COORDINACION DE PROTECCIONES EN SISTEMAS ELECTRICOS DE DISTRIBUCION, MEDIANTE EL USO DE RELES SEÑ-751 [Tesis de Ingenieria, Universidad Politecnica*

- Salesiana*]. Repositorio Institucional Biblioteca de la Universidad Politecnica Salesiana., Guayaquil, Guayas, Ecuador.  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24673>
- Espinosa, R. (2017). *SISTEMAS DE DISTRIBUCION*. (NORIEGA, Ed.) Mexico, Mexico: LIMUSA.
- Gallego, R., Escobar, A., & Granda, M. (2017). *Flujo de carga en sistemas de transmision*. Pereira, Colombia: UTP.
- Gallego, R., Mora, J., & Hincapie, R. (2021). *Modelizado y analisis de cortocircuito en sistemas electricos*. Pereira, Colombia: UTP.
- Garcia, J. (2016). *INSTALACIONES ELECTRICAS EN MEDIA Y BAJA TENSION*. (septima ed.). Madrid: Paraninfo.
- Global Electricity. (31 de Octubre de 2018). *Constitucion de los Sistemas Electricos [Imagen]*. Obtenido de Global Electricity:  
<https://globalelectricity.wordpress.com/2013/10/31/constitucion-de-los-sistemas-electricos/>
- Grainger, J., & Stevenson jr, W. (2018). *ANALISIS DE SISTEMAS DE POTENCIA*. MEXICO: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE MEXICO, S. A. de C. V.
- Guerrero, M. (2022). *SISTEMAS DE DISTRIBUCION PRIMARIAS AEREOS Y USO DE RECONECTADORES EN CONJUNTO CON SECCIONADORES Y FUSIBLES DE EXPULSION [Tesis de Ingenieria, UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA]*. Repositorio Institucional Biblioteca de la Universidad Nacional de la Plata, Buenos Aires.  
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/161221>

- Juárez, J. (2018). *Sistemas de Distribucion de Energia Electrica*. Mexico: Sans Serif.
- Kevin Ortiz, W. P. (2023). *Analisis de protecciones electricas de microgrids modo isla con elevada penetracion de enrgia renovables no convencionales [Tesis de Maestria, UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI]*. Repositorio Institucional UNIVERSIDAD DE COTOPAXI, Latacunga. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10017>
- Montoya, O., Garces, A., Gil, W., & Escobar, A. (2020). Compensacion de Potencia Reactiva en Sistemas de Distribucion. En O. Montoya, A. Garces, W. Gil, & A. Escobar, *Compensacion de Potencia Reactiva en Sistemas de Distribucion*. Cartagena de Indias: UTB.
- Mujal, R. (2018). *Proteccion de sistemas electricos de potencia* (Primera ed.). Barcelona, España: Oficina de Publicacions Academiques Digitals de la UPC.
- Mujal, R. (2019). *Proteccion de sistemas electricos de potencia*. Barcelona: Universitat Politecnica de Catalunya, SL.
- Nakashima, A. (2020). *Automatismo de Redes de Distribucion [Tesis de Maestria, Benemerita Universidad Autonoma de Puebla]*. Repositorio Institucional Biblioteca de la Universidad Autonoma de Puebla,, Puebla. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/11308>
- Parra, E. (2022). *Analisis de armonicos en sistemas de distribucion*. Bogota, Colombia: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Perez, J. (2021). *UBICACION OPTIMA DE RECONECTADORES EN REDES DE DISTRIBUCION USANDO METODOS COMPUTACIONALES CASO DE ESTUDIO: CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE*

- SANTANDER [Tesis de Ingenieria, UNIVERSIDAD DE PAMPLONA].*  
 Repositorio Institucional Biblioteca de la Universidad de Pamplona,  
 Santander.  
[http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/5473/1/P%C3%A9rez\\_2021\\_TG.pdf](http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/5473/1/P%C3%A9rez_2021_TG.pdf)
- Ramirez, S. (2019). *Protecciones de Sistemas Electricos* (Primera ed.). (U. N. Colombia, Ed.) Manizales, Colombia.
- Ramirez, S. (2019). *Redes de Distribucion de Energia* (Tercera ed.). (U. N. Colombia, Ed.) Manizales, Colombia.
- Ramirez, S., & Cano, E. (2019). *CALIDAD DEL SERVICIO DE ENRGIA ELECTRICA*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Reeves, A. (2018). *VAdemecum de Electricidad*. España: REVERTE, S. A.
- Rodrigo, B. W. (2018). *Atrapando el sol en los Sistemas Electricos de Potencia* (primera ed.). Santiago de Chile.
- Silva, C., & Verdezoto, J. (2020). *EVALUACION DEL SISTEMA DE PROTECCIONES E INDICES CONFIABILIDAD ACTUALES EN LA CABECERA DE LA SUBESTACION 21 EPICLACHIMA DE LA EMPRESA ELECTRICA QUITO [Tesis de Ingenieria, UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI]*. Repositorio Institucional de la Universidad Tecnica de Cotopaxi, Latacunga.  
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7947>
- Sirpa, A. (2023). *COORDINACION DE PROTECCIONES DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION TEMALAYU DE COSEAL [TESIS DE INGENIERA ELECTRICA, UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES]*. Repositorio

Institucional.

<http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/34274>

Stevenson, W. (2017). *ANALISIS DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA* (SEGUNDA ed.). JUAREZ, JUAREZ, MEXICO: McGRAW-HILL DE MEXICO.

Velez, S. (2023). *REDUCCION DE ARMONICOS A TRAVEZ DE FILTROS ACTIVOS BASADOS EN CONVE3RTIDORES MULTINIVEL EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIO* [Tesis de Ingenieria, Universidad Politecnica Salesiana de Quito]. Repositorio Institucional. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26407>

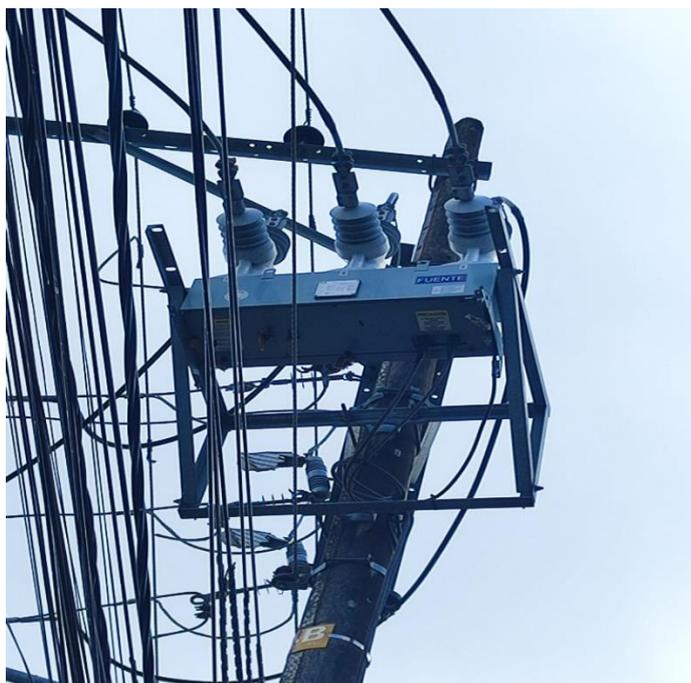
Viqueira, J. (2018). *Redes Electricas*. Mexico: Mexico.

Weedy, B. M. (2017). *sistemas electricos de gran potencia*. Barcelona, España: REVERTE, S.. A.

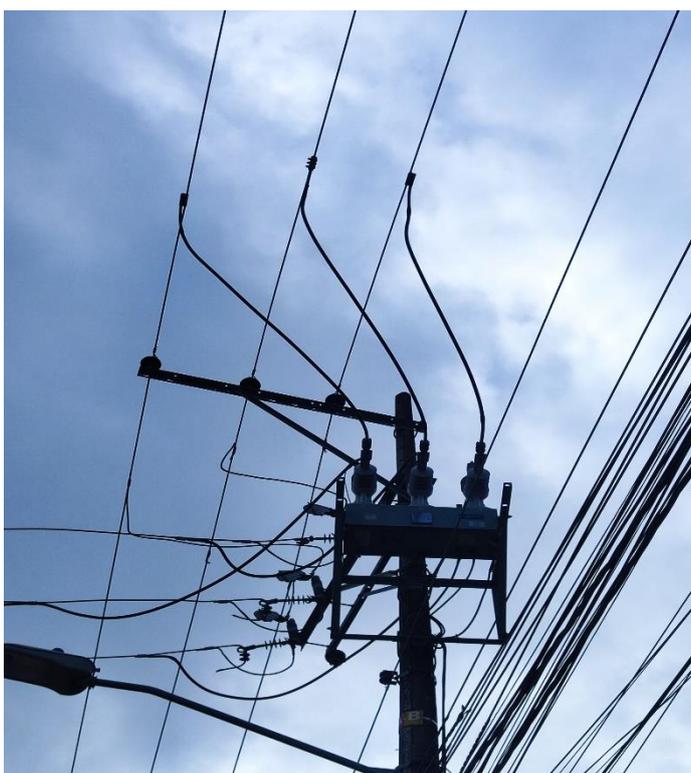
Yebra, J. (2021). *Sistemas Electricos de Distribucion*. Mexico: Reverte.

## ANEXOS

### Reconectador del recinto la Francia



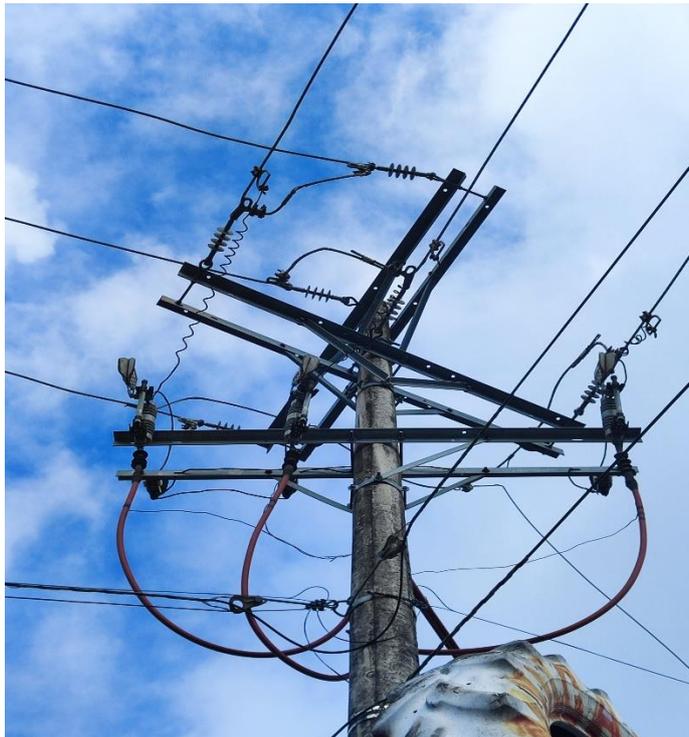
### Reconectador del recinto La Chiflera



### Reconector de cabecera



### Estructura de interconexión



## Corrientes del alimentador por SCADA

	ESTADO	COMS	CORRIENTES
MITAD DE LINEA BY PASS EL PARAISO	[Red]	[Green]	42.0 A
			86.5 A
			53.1 A
MITAD DE LINEA REFORMA SHOPPING	[Red]	[Green]	27.9 A
			43.6 A
			41.7 A
MITAD DE LINEA PROGRESO LA FRANCIA	[Red]	[Green]	15.4 A
			3.1 A
			10.9 A
MITAD DE LINEA CRUCE DE CARACOL	[Red]	[Green]	83.3 A
			57.5 A
			88.3 A
MITAD DE LINEA LAS AMAZONAS	[Red]	[Green]	41.0 A
			48.0 A
			45.0 A
MITAD DE LINEA BABA - BAN ECUADOR	[Red]	[Green]	55.2 A
			31.7 A
			9.3 A
MITAD DE LINEA MAFAN - N DE MAFAN	[Red]	[Green]	43.0 A
			70.9 A
			56.0 A
MITAD DE LINEA LOS ANGELES EL BARRERO	[Red]	[Green]	9.7 A
			23.0 A
			42.0 A
MITAD DE LINEA BARRERO	[Red]	[Green]	15.0 A
			44.9 A
			37.2 A

## Ampacidades del alimentador

			66.0 A
MITAD DE LINEA Y DE MONTALVO	[Red]	[Green]	41.0 A
			88.0 A
			58.0 A
MITAD DE LINEA PROGRESO LA CHIFLERA	[Red]	[Green]	36.0 A
			26.0 A
			54.0 A

## Tabla de coordinación de fusibles del CENASE

*Agua Arriba*

FUSIBLES DE PRO-TECCION	FUSIBLES PROTEGIDOS (RESPALDO)													
	8K	10K	12K	15K	20K	25K	30K	40K	50K	65K	80K	100K	140K	200K
	CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO MAXIMA DE COORDINACION (AMPERES)													
6K	190	350	510	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200	
8K		210	440	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200	
10K			300	540	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200	
12K				320	710	1050	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200	
15K					430	870	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200	
20K						500	1100	1700	2200	2800	3900	5800	9200	
25K							660	1350	2200	2800	3900	5800	9200	
30K								850	1700	2800	3900	5800	9200	
40K									1100	2200	3900	5800	9200	
50K										1450	3500	5800	9200	
65K											2400	5800	9200	
80K												4500	9200	
100K												2000	9100	
140K													4000	

## Tabla de datos del barraje de subtransmisión

*Die - 2021*      *Mínima Generación*

Tabla 6. Corrientes de cortocircuito de fallas monofásicas y trifásicas e impedancias equivalentes - Barras 69 KV

Barra	Vn	Falla Trifásica			Falla Monofásica			Impedancia equivalente								
		Ikks (kA)	sks (MVA)	Ip (kA)	Ikks (kA)	sks (MVA)	Ip (kA)	Re0 (Ohm)	Xe0 (Ohm)	Ze0 (Ohm)	Re1 (Ohm)	Xe1 (Ohm)	Ze1 (Ohm)	Re2 (Ohm)	Xe2 (Ohm)	Ze2 (Ohm)
Ambato	69	6.03	720.48	15.42	7.11	283.11	18.17	0.16	4.01	4.02	0.52	7.25	7.27	0.49	7.20	7.22
Baños	69	3.69	441.40	9.52	4.26	169.60	10.97	0.11	7.20	7.20	0.73	11.84	11.87	0.86	11.80	11.82
Bombolza	69	2.73	328.42	7.06	3.25	129.54	8.41	0.32	8.33	8.33	1.02	16.01	16.04	1.02	16.02	16.05
Caraguay	69	7.65	938.14	20.99	9.87	393.01	26.37	0.06	2.16	2.16	0.21	5.58	5.58	0.21	5.58	5.59
Chone	69	2.99	357.92	6.53	3.88	154.76	8.47	0.03	4.60	4.60	2.97	14.33	14.63	3.06	14.37	14.69
Cuenca	69	11.34	1354.70	28.47	12.92	514.88	30.18	0.38	2.33	2.38	0.54	3.83	3.87	0.66	3.90	3.94
Cumbaratza	69	1.78	210.27	4.38	2.01	80.00	5.00	0.75	15.43	15.45	2.24	24.81	24.91	2.63	24.99	25.12
Dos Carrizos	69	10.89	1301.77	28.86	14.26	567.92	37.51	0.02	1.17	1.17	0.19	4.02	4.02	0.20	4.02	4.03
Duran	69	11.34	1355.00	29.77	13.90	553.74	36.60	0.06	1.72	1.72	0.19	3.86	3.87	0.19	3.86	3.87
Esmeraldas	69	5.23	624.76	13.16	6.36	253.90	16.00	0.04	3.94	3.94	0.73	8.35	8.38	0.74	8.33	8.37
Franco de Orellana	69	1.23	146.66	2.46	1.59	63.31	3.19	0.46	11.87	11.88	10.53	34.13	35.71	9.73	34.10	35.46
Gonzalo Zevallos	69	18.91	2259.61	48.64	25.04	997.71	64.44	0.04	0.60	0.60	0.13	2.31	2.32	0.13	2.33	2.33
Jivino	69	6.09	727.51	16.19	8.35	332.63	22.21	0.04	1.39	1.39	0.30	7.19	7.20	0.28	7.15	7.15
Loja	69	3.48	416.27	8.49	4.26	169.70	10.38	0.33	5.54	5.55	1.35	12.51	12.58	1.64	12.63	12.74
Loreto	69	1.27	152.30	2.63	1.48	58.51	3.05	2.11	20.61	20.92	9.00	33.19	34.39	8.05	32.97	33.94
Macas	69	2.50	299.28	5.52	3.43	136.57	7.58	0.13	3.44	3.44	3.47	17.15	17.50	3.41	17.11	17.45
Machala	69	10.86	1297.58	27.20	13.88	553.13	34.78	0.07	1.47	1.47	0.33	4.02	4.04	0.35	3.95	3.96
Manta	69	2.25	268.54	5.74	3.09	123.28	7.91	0.05	6.09	6.09	1.15	19.47	19.50	0.89	16.88	16.90
Milagro	69	17.01	2032.46	45.04	21.42	853.35	56.73	0.01	0.94	0.94	0.08	2.58	2.58	0.08	2.62	2.62
Montecristi	69	3.37	403.09	8.49	4.23	168.66	10.66	0.20	5.29	5.29	1.08	12.85	12.89	1.04	12.73	12.77
Mulaló	69	5.12	611.74	12.27	7.74	308.38	18.56	0.00	0.00	0.00	1.03	8.50	8.58	0.84	8.38	8.42
Nueva Babahoyo	69	6.50	777.21	16.78	7.92	315.55	20.44	0.12	8.22	8.22	0.97	9.73	9.74	0.96	6.63	6.64
Nueva Prosperina	69	10.29	1229.58	27.41	13.42	534.77	35.77	0.02	1.27	1.27	0.17	4.26	4.26	0.17	4.26	4.26
Pascuales	68	20.55	2455.59	54.06	25.93	1032.86	68.22	0.01	0.80	0.80	0.10	2.13	2.13	0.10	2.13	2.14
Pedernales	69	2.12	253.36	5.11	2.42	96.41	5.83	0.43	13.03	13.04	2.45	20.63	20.67	2.45	20.51	20.65
Polifrento	69	8.57	1024.48	22.10	8.17	325.60	21.07	0.53	6.83	6.86	0.33	5.10	5.11	0.33	5.11	5.12
Portoviejo	69	5.40	645.93	13.59	6.05	241.15	15.22	0.36	6.54	6.55	0.68	8.08	8.11	0.70	6.03	6.06
Posorje	69	2.69	321.65	5.98	3.02	120.22	6.70	0.73	11.04	11.06	3.06	15.99	16.28	3.06	16.00	16.29

*3φ*       $S = \sqrt{3} * V * I$        $S = \sqrt{3} * 69 * 6.50$        $S = 776.82 \text{ MVA} //$        $X/R = 6.73 / 0.37 = 18.189 //$

*1φ*       $S = \sqrt{3} * V * I$        $S = \sqrt{3} * 69 * 7.92$        $S = 946.53 \text{ MVA} //$        $X/R = (6.73 + 6.63 + 3.22) / (0.37 + 0.36 + 0.12) = 19.505 //$

$S = I^2 * Vn$        $S = 792 * (69/\sqrt{3})$        $S = 310.51 \text{ MVA} //$



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Zúñiga Hurtado, Edgar Ansaldo**, con C.C: # **120585183-3** autor/a del trabajo de titulación: **“Estudio y coordinación de protecciones para un sistema de distribución con enfoque al alimentador Progreso del cantón Baba provincia de Los Ríos”** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN ELECTRICIDAD** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 14 de febrero de 2024

f. 

Nombre: **Zúñiga Hurtado, Edgar Ansaldo**

C.C: **120585183-3**

<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>			
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>			
<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	"Estudio y coordinación de protecciones para un sistema de distribución con enfoque al alimentador Progreso del cantón Baba provincia de Los Ríos"		
<b>AUTOR(ES)</b>	Edgar Ansaldo Zúñiga Hurtado		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Jaime Rafael Hidalgo Aguilar, M Sc		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Carrera de Ingeniería en Electricidad		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	INGENIERO EN ELECTRICIDAD		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	14 de febrero de 2024	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	75
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Energía y Sostenibilidad Industrial		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	<i>protecciones, alimentador, reconector, fusibles, fallas, sistemas</i>		
<b>RESUMEN/ABSTRACT</b>	En esta investigación, se realizó el estudio y coordinación de protecciones para un sistema de distribución, enfocado al alimentador de 13.2 kV el Progreso del Cantón Baba, Provincia de Los Ríos el cual presentaba problemas de interrupción del suministro de energía eléctrica a causa de fallos de tipo fase – tierra, lo que provocaba la apertura del reconector de cabecera (Principal) dejando a gran parte de la población sin electricidad, los resultados del estudio fueron claves para realizar la coordinación de los elementos de protección como son los fusibles y los re-conectores, los cuales actuaran de forma coordinada según los tiempos de análisis, esto impedirá que al suscitarse una falla en la red, actúen los elementos primarios de protección y no afecte la fuente del sistema de distribución provocando la interrupción del servicio y a su vez que los indicadores de eficiencia energética como lo es el TTIK y FMIK se incrementen.		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-98 619 5551	<b>E-mail:</b> edgar.zuñiga@cu.ucsg.edu.ec	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre:</b> Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo PHD.		
	<b>Teléfono:</b> +593- 995147293		
	<b>E-mail:</b> celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			