



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

MODALIDAD: INFORME DE INVESTIGACIÓN

Título:

**COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR
No 3 DE LA S/E LA MANÁ A 13,8 kV PARA ELEPCO S.A**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en
Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia

Autores:

Bonilla Gancino Cesar Carlos
Espinoza Pincay Tatiana Yessenia

Tutor:

MSc. Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso

**LATACUNGA –ECUADOR
2022**

AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “**COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR No 3 DE LA S/E LA MANÁ A 13,8 kV PARA ELEPCO S.A**” presentado por: Cesar Carlos Bonilla Gancino y Tatiana Yessenia Espinoza Pincay, para optar por el título de Magíster en Electricidad Mención Sistemas Eléctricos de Potencia

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, 03 de marzo del 2022

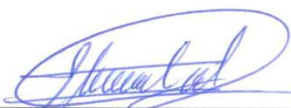


MSc. Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado
C.C. 0502656424

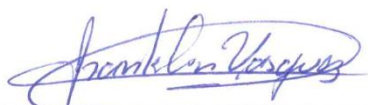
AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: “COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR No 3 DE LA S/E LA MANÁ A 13,8 kV PARA ELEPCO S.A” ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que los estudiantes puedan presentarse a la exposición y defensa.

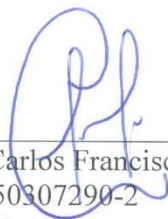
Latacunga, 12 de mayo del 2022



MSc. Marco Aníbal León Segovia
C.C. 050230540-2
Presidente del Tribunal



MSc. Franklin Hernán Vasquez Teneda
C.C. 171043449-7
Lector 2



MSc. Carlos Francisco Pacheco Mena
C.C. 050307290-2
Lector 3

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación es dedicado, en primera instancia a Dios, el cual por medio de mis abnegados padres me dio la oportunidad de venir a este mundo y dotar de inteligencia y sabiduría para cumplir cada uno de mis propósitos.

A mi fiel compañera, esposa y amiga Tatiana Espinoza, quien a la par nos hemos ayudado en la investigación de este tema.

Y en especial a mis adorables hijos: Carlos Alexander, Kelly Victoria y Sofía Yesslí, quienes han sido el motor principal para alcanzar este objetivo.

De la misma manera agradezco a mis padres quienes con su amor, paciencia y su incondicional apoyo moral permitieron escalar mi formación académica.

Cesar Carlos

AGRADECIMIENTO

Mi principal agradecimiento es dirigido a cada una de las autoridades y funcionarios que formaron y forman parte de la Universidad Técnica de Cotopaxi, cuya visión era y será la de fomentar el desarrollo de la Provincia de Cotopaxi, a través de la educación superior.

A todos y cada uno de mis maestros, que con su alto nivel de conocimientos compartieron sus enseñanzas sin egoísmo alguno, para dejar el nombre de la Universidad Técnica de Cotopaxi como pionera en la formación de profesionales de cuarto nivel, en especial en la Maestría en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

A mis compañeros y compañeras que compartieron un espacio en las aulas, aportando sus conocimientos para continuar con mi formación estudiantil, y de esta manera culminar la maestría en Sistemas Eléctricos de Potencia, pese a una dura realidad que el mundo entero enfrenta, la presencia del COVID-19

A mi tutor MSc. Xavier Proaño, por su humildad y entrega, para el desarrollo de nuestra investigación.

A los funcionarios de la ELEPCO S.A, quienes tuvieron la gentileza de colaborar con los datos técnicos y la utilización del programa SYMDIST, con el cual pude concluir el comportamiento real del tema planteado.

Cesar Carlos

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación dedico, a Dios por brindarme la salud y la vida para poder alcanzar mis sueños y llegar a cumplir las metas planteadas.

A mis padres por su apoyo moral e incondicional, que con su ejemplo de humildad y sencillez me permitieron ser una mejor persona y así alcanzar mis objetivos.

A mi amado esposo, Carlos por siempre estar a mi lado por ser el soporte y pilar fundamental en mi vida.

Y a mis amores de vida, mis hijos amados; Carlitos, Victoria y Sofía, ya que ellos siempre son la fuente de inspiración de seguir superándome día a día.

Tatiana Yessenia

AGRADECIMIENTO

A Dios por regalarme la vida y darme la oportunidad de construir una familia hermosa y llena de bendiciones.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi y a cada uno de mis maestros por su aporte brindado a mi crecimiento académico, con su ética – moral, siempre nos han enseñado que debemos ser unos excelentes profesionales en beneficio para la sociedad.

Al MSc. Xavier Proaño, por ser nuestro guía y brindarnos sus conocimientos para poder culminar con éxito este proyecto de titulación.

Agradezco a la ELEPCO S.A, por abrimos las puertas y proporcionarnos toda información necesaria para la realización y culminación del presente estudio de titulación.

Tatiana Yessenia

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quienes suscribimos, declaramos que asumimos la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en la presente tesis de titulación.

Latacunga, 03 de marzo del 2022



Ing. Cesar Carlos Bonilla Gancino
C.C. 0502280357

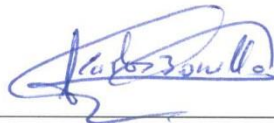


Ing. Tatiana Yessenia Espinoza Pincay
C.C. 1205692690

RENUNCIA DE DERECHOS

Quienes suscribimos, admitimos los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, 03 de marzo del 2022



Ing. Cesar Carlos Bonilla Gancino
C.C. 0502280357

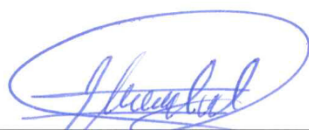


Ing. Tatiana Yessenia Espinoza Pincay
C.C. 1205692690

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: **“COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR No 3 DE LA S/E LA MANÁ A 13,8 kV PARA ELEPCO S.A”** contiene las correcciones y las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, 12 de mayo del 2022



MSc. Marco Aníbal León Segovia
C.C. 050230540-2
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

Título: “COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR No 3 DE LA S/E LA MANÁ A 13,8 kV PARA ELEPCO S.A.”

Autores: Ing. Cesar Carlos Bonilla Gancino
Ing. Tatiana Yessenia Espinoza Pincay

Tutor: MSc. Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso

RESUMEN

El presente trabajo de titulación, se basa en el estudio de coordinación de protecciones del **ALIMENTADOR No 3 DE LA S/E LA MANÁ A 13,8 kV PARA ELEPCO S.A**, aplicando la metodología de selectividad, rapidez y confiabilidad frente a un evento de falla eléctrica.

El estudio de coordinación de protecciones, consiste en determinar los dispositivos adecuados de protección y sus ajustes correspondientes para la operación adecuada y selectiva ante cualquier condición de falla, en base a las potencias nominales, *kVA*, de todos los transformadores de distribución, el consumo mensual de energía de cada cliente, *kWh*, y el esquema de configuración de red, el programa computacional CYMDIST coincide con el criterio de distribución de carga.

Las técnicas de distribución de carga descritas, consideran una única medición real del contador de energía instalado en cabecera del alimentador principal, no así, si se presentase más de un punto de medición real distribuida adecuadamente en la red, CYME tiene la flexibilidad de incluir dichas mediciones en su algoritmo.

Todos los datos proporcionados por la ELEPCO S.A, se utilizó como parámetros de entrada para que el algoritmo en CYME ejecute la distribución, y el estudio de flujo de carga.

PALABRAS CLAVE: Protecciones Eléctricas; Flujos de carga; Fallas eléctricas; Topología de red eléctrica; Coordinación de protecciones, Fusibles, Reconectores, Relés de Subestación y CYMDIST.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

Title: “COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR No 3 DE LA S/E LA MANÁ A 13,8 kV PARA ELEPCO S.A.”

Authors: Ing. Cesar Carlos Bonilla Gancino
Ing. Tatiana Yessenia Espinoza Pincay

Tutor: MSc. Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso

ABSTRACT

The present research study aimed to study of protection coordination of FEEDER No. 3 OF THE S/E LA MANA AT 13.8 kV FOR ELEPCO S. A., applying the methodology of selectivity, speed and reliability in the face of an electrical failure event.

The study of protection coordination consists in determining the appropriate devices of protection and their corresponding settings for the proper operation and selective against any fault condition, based on nominal powers, kVA, of all distribution transformers, the monthly energy consumption of each customer, in kWh, as well as the schema of the network configuration, the CYMDIST computer program coincides with the load distribution criterion. based on the load reading of the meter in the head of the primary feeder and the monthly energy consumption of the customers.

The load distribution techniques described, consider a single real measurement of the meter installed in the head of the primary feeder, however, if more than one real measurement point is properly distributed in the network, the CYME module has the flexibility to include such measurements in its load distribution algorithm.

All data provided by ELEPCO S. A., are used as parameters for the CYME algorithm to execute the distribution, and the load flow study.

KEYWORDS: Electrical protections; Load flows; Electrical faults; Electrical network Topology; Coordination of protections, Fuses, Reclosers, Substation Relays and CYMDIST.

Yo, Edison Marcelo Pacheco Pruna con cédula de identidad número: 050261735-0 Licenciado en: Ciencias de la Educación Mención Ingles con número de registro de la SENESCYT: 1020-12-1169234; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: “**COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR No 3 DE LA S/E LA MANÁ A 13,8 kV PARA ELEPCO S.A.**” De los Ing. CESAR CARLOS BONILLA GANCINO e Ing. TATIANA YESSENIA ESPINOZA PINCAY, aspirantes a magister en ELECTRICIDAD MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.

Latacunga, 25 de marzo del 2022


Lic. Edison Marcelo Pacheco Pruna Mg.
ID. 0502317350

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AVAL DEL TUTOR.....	ii
AVAL DEL TRIBUNAL.....	iii
AGRADECIMIENTO	v
AGRADECIMIENTO	vii
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	viii
RENUNCIA DE DERECHOS.....	ix
AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	xiii
INDICE DE TABLAS	xvii
INDICE DE FIGURAS.....	xviii

1.1. Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte	5
1.2. Fundamentación Teórica.....	5
1.2.1. Protecciones eléctricas	6
1.2.2. Consideraciones para un sistema de protecciones	6
1.2.3. Sistema Eléctrico De Distribución.....	8
1.2.3.1. Subestación de Distribución.....	9
1.2.3.2. Circuitos Primarios	9
1.2.3.3. Transformadores de Distribución.....	9
1.2.3.4. Circuitos Secundarios.....	10
1.2.3.5. Acometidas.....	10
1.2.4. Características de carga.....	10
1.2.4.1. Carga Instalada.....	10
1.2.4.2. Capacidad Instalada	10
1.2.4.3. Demanda	10
1.2.4.4. Demanda Máxima	11
1.2.4.5. Factor de Demanda	11
1.2.4.6. Factor de Utilización.....	11

1.2.4.7.	Factor de Potencia	11
1.2.4.8.	Regulación de Voltaje.....	11
1.2.5.	Dispositivos de Protección para Alimentadores Primarios.....	12
1.2.5.1.	Fusible	12
1.2.5.2.	Reconectador.....	15
1.2.5.3.	Relé de Sobre corriente	16
1.3.	Fundamentación metodológica	16
1.3.1.	Tipos de Investigación	17
1.3.1.1.	Investigación bibliográfica.....	17
1.3.1.2.	Investigación de campo.....	17
1.3.1.3.	Investigación descriptiva.....	17
1.3.2.	Método de investigación	17
1.3.2.1.	Método hipotético deductivo	17
1.3.3.	Técnicas, Equipos e Instrumentos.....	18
1.3.4.	Condiciones de Operación en un Sistema de Protecciones.....	18
<input type="checkbox"/>	Selectividad.....	18
<input type="checkbox"/>	Sensibilidad.....	18
<input type="checkbox"/>	Rapidez.....	19
<input type="checkbox"/>	Confiabilidad.....	19
<input type="checkbox"/>	Economía.....	19
1.4.	Conclusiones Capítulo I.....	19

CAPÍTULO II. PROPUESTA

2.1.	Título del proyecto	21
2.2.	Objetivo del proyecto	21
2.3.	Justificación de la propuesta	21
2.3.1.	Descripción del alimentador	21
2.4.	Fundamentación de la propuesta.....	22
2.5.	Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados.....	23

2.5.1.	Distribución de carga	24
2.5.2.	Flujo de carga	27
2.5.3.	Análisis del Perfil de Voltaje del Alimentador de Distribución	29
2.5.4.	Análisis de Cargabilidad de Equipos del Alimentador	30
2.5.5.	Criterios para la selección, ajuste y coordinación de dispositivos de protección.	31
2.5.5.1.	Criterios para la selección de fusibles.	31
2.5.5.2.	Criterios de Ajuste de la Protección temporizada e instantánea de relés fase y neutro.	32
2.5.5.3.	Criterio para selección de reconectadores	35
2.5.6.	Coordinación de Protecciones	36
2.5.6.1.	Coordinación del Fusible y el Transformador	37
2.5.6.2.	Coordinación Fusible-Fusible	37
2.5.6.3.	Coordinación Relé-Fusible	38
2.5.6.4.	Coordinación Relé - Reconectador	39
2.5.6.5.	Coordinación Reconectador-Fusible	41
2.5.7.	Condición Actual del Sistema de Protección del Alimentador No. 3 de la S/E La Maná	42
2.6.	Arquitectura, diseños, planos detallados de la propuesta	49
2.7.	Requerimientos de hardware y software	50
2.8.	Costo de Implementación	50
2.9.	Conclusiones Capítulo II	52

CAPÍTULO III. APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

3.1.	Análisis de los resultados	60
3.2.	Validación técnica -económica de los resultados	61
3.3.	Evaluación de expertos	63
3.4.	Evaluación de usuarios (si aplica)	66
3.5.	Evaluación de impactos o resultados	67
3.6.	Conclusiones del III capítulo	68

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones generales	69
4.2. Recomendaciones.....	70
Bibliografía	72

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 ANÁLISIS DE EQUIPOS SOBRECARGADOS.....	30
TABLA 2 COSTO DE ACTUALIZACIÓN DE SOFTWARE CYMDIST Y SUSTITUCIÓN DE FUSIBLES	51
TABLA 3 CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO EN EL NODO MÁS CERCANO A CADA FUSIBLE.....	54
TABLA 4 CORRIENTES DE CARGA QUE CIRCULAN POR LOS FUSIBLES 94656_SF Y 9382.....	55
TABLA 5 AJUSTES ACTUALES Y PROPUESTOS DE LA FUNCIÓN DE PROTECCIÓN 51N DEL RELÉ DE CABECERA DEL ALIMENTADOR	57
TABLA 6 AJUSTES ACTUALES Y PROPUESTOS DE LA FUNCIÓN DE PROTECCIÓN 51N DEL RELÉ DE CABECERA DEL ALIMENTADOR	59
TABLA 7 COSTO DE ACTUALIZACIÓN DE SOFTWARE CYMDIST E IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS DE ÚLTIMA TECNOLOGÍA	62

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 ZONA DE PROTECCIÓN Y SOLAPAMIENTO.....	7
FIGURA 2 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DENTRO DE UN SISTEMA DE POTENCIA	9
FIGURA 3 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN FUSIBLE.	13
FIGURA 4 CURVAS TIEMPO-CORRIENTE DE FUSIBLES TIPO T Y K.	14
FIGURA 5 PARTES DE UN RECONECTADOR.	15
FIGURA 6 ALIMENTADOR No. 3 MODELADO EN EL PROGRAMA DE SIMULACIÓN DE REDES ELÉCTRICAS CYMDIST	22
FIGURA 7 VENTANA DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL CYME	26
FIGURA 8 PERFIL DE VOLTAJE EN DEMANDA MÁXIMA DEL ALIMENTADOR No. 3.29	
FIGURA 9 UBICACIÓN DE LOS FUSIBLES 65 T, 40T Y 25T QUE PRESENTAN SOBRECARGA	31
FIGURA 10 CARACTERÍSTICAS DE TIEMPOS DE OPERACIÓN DE RELÉS.	33
FIGURA 11 COORDINACIÓN FUSIBLE - FUSIBLE.	37
FIGURA 12 COORDINACIÓN RELÉ - FUSIBLE.....	39
FIGURA 13 COORDINACIÓN RELÉ - RECONECTADOR	40
FIGURA 14 COORDINACIÓN RECONECTADOR - FUSIBLE.....	42
FIGURA 15 UBICACIÓN DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN EN LA TRONCAL PRINCIPAL Y RAMAL MÁS CERCANO.....	45
FIGURA 16 CONDICIÓN ACTUAL DEL ESQUEMA DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR No. 3	46
FIGURA 17 (A) FALLA PERMANENTE AGUAS ABAJO DEL RECONECTADOR 197561_MTA.....	47
FIGURA 17 (B) FALLA MONOFÁSICA AGUAS ABAJO DEL FUSIBLE 9382	47
FIGURA 17 © FALLA MONOFÁSICA AGUAS ABAJO DEL FUSIBLE 94656_SF	48
FIGURA 18 TOPOLOGÍA ALIMENTADOR No. 03 S/E LA MANÁ_ELEPCO	49
FIGURA 19 AJUSTE PRELIMINAR DE PROTECCIONES CONSIDERANDO 4 FUSIBLES MÁS 1 RECONECTADOR EN LA TRONCAL PRINCIPAL.....	54
FIGURA 20 CURVAS DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES CONSIDERANDO LA ALTERNATIVO 1, ELIMINAR EL FUSIBLE NO.94656_SF.....	56

FIGURA 21 CURVAS DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES CONSIDERANDO LA ALTERNATIVA 2, ELIMINAR EL FUSIBLE NO. 9382	58
FIGURA 22 CURVAS DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES CONSIDERANDO LA ALTERNATIVA 2, ELIMINAR EL FUSIBLE NO. 9382, MANTENIENDO LA SELECTIVIDAD EN LA PROTECCIÓN 51N DEL RELÉ DE CABECERA.....	59

INTRODUCCIÓN

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A, ubicada en la Provincia del mismo nombre, está situada a 2 750 msnm, es la encargada de suministrar el servicio de energía eléctrica a 7 cantones que son: Latacunga, Salcedo, Pujilí, Saquisilí, Pangua, Sigchos y La Maná, en sus actividades viene realizando labores de operación y mantenimiento, construcción y remodelación de sus instalaciones en cada una de sus administraciones, estos trabajos se realizan debido a que el incremento poblacional no cesa en su crecimiento.

El presente estudio, denominado alimentador primario No 3 de la S/E La Maná a 13,8 kV, brinda el servicio en un 80 % la parte residencial y un 20 % la parte industrial y comercial, en la actualidad presenta falencias en su operación debido al incremento poblacional que se ha dado año tras año desde su construcción, este fenómeno de crecimiento hace que sus protecciones no están actuando de manera eficiente, provocando interrupciones en el servicio de energía. Cabe señalar que por ser una zona subtropical el crecimiento de vegetación como las descargas atmosféricas producen también discontinuidad en el servicio.

En base a lo descrito, en el presente trabajo se realiza, un estudio actualizado en la coordinación, ajustes y calibración de las protecciones eléctricas del alimentador No 3 de la S/E La Maná a 13,8 kV, mediante un análisis de flujos de potencia y cortocircuitos en el programa CYMDIST, y de esta manera tener un sistema de protecciones sensible, selectivo, confiable y simple, asegurando su detección, localización y desconexión de manera automática en el ramal afectado debido a fallas permanentes o temporales; con lo cual se brindará al usuario final un mejor servicio de energía eléctrica, puesto que hoy en día las protecciones del alimentador no brindan las suficientes garantías del mismo, como también se protegerá a los equipos expuestos a la falla.

Antecedentes

El presente proyecto se encuentra anclado en la línea de investigación Maestría en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia de la UTC, que abarca la sub

línea del programa explotación y diseño de sistemas de potencia, aplicando la temática de protecciones eléctricas.

Es necesario mencionar que el presente estudio se lo realizara citando referencias bibliográficas empleadas en investigaciones similares, que contengan términos y conceptos acordes al tema, puesto que sus equipos y componentes fueron diseñadas para una determinada demanda en su momento pero que, en la actualidad debido al crecimiento poblacional, variación en su topología y la presencia de pequeñas industrias esas protecciones ya no cumplen adecuadamente sus funciones.

Planteamiento del problema

El alimentador primario No 3 de la S/E La Maná a 13,8 kV inicialmente fue diseñado y construido exclusivamente para servicio residencial alrededor del año 1995, distribuido aproximadamente en un 80% la parte residencial y un 20 % la parte industrial y comercial, debido al crecimiento poblacional e implementación de industrias y comercio, el servicio de energía en la actualidad es ineficiente, lo cual ocasiona mayores pérdidas de potencia y energía, caídas de tensión fuera del rango de las regulaciones emitidas por el ARCONEL.

El sitio de estudio por encontrarse en una zona subtropical, el crecimiento de la vegetación representa otro problema de discontinuidad, por las fallas que provocan sus ramas, de tal manera que los equipos instalados en su momento no brindan las garantías de continuidad de servicio al usuario final.

En base a estos inconvenientes que se presenta en el alimentador, es necesario realizar un estudio actualizado en la coordinación de protecciones, con la finalidad de brindar una continuidad y mejor servicio de energía eléctrica al cliente final.

Formulación del problema

¿Cuál será la coordinación de protecciones adecuada para el alimentador primario No 3 de la S/E La Maná a 13,8 kV?

Objetivo General

Coordinar las protecciones del alimentador No 3 de la S/E La Maná para mejorar el servicio eléctrico.

Objetivos Específicos

- Revisar textos bibliográficos referente a protecciones en el sistema de distribución.
- Analizar la demanda actual en el alimentador primario No 3 de la S/E La Maná.
- Determinar las fallas más frecuentes en el alimentador primario No 3 de la S/E La Maná.
- Calibrar y validar el sistema de protecciones del alimentador citado en tiempo real utilizando el programa computacional CYMDIST.

Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos:

Objetivos específicos	Actividad (tareas)	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
Revisar textos bibliográficos referente a protecciones en el sistema de distribución	Revisión de textos artículos y bibliografías concernientes a protecciones eléctricas	Metodología aplicada para protecciones eléctricas	Búsqueda bibliográfica
Analizar la demanda actual en el alimentador primario No 3 de la S/E La Maná	Cuantificación de la demanda actual en el alimentador citado a través de mediciones	Datos de la curva de demanda	Analizadores de carga como equipos de medición
Determinar las fallas más frecuentes en el Alimentador primario # 3 de la S/E La Maná	Determinación de las fallas más frecuentes que provocan la discontinuidad de servicio eléctrico	Número de fallas permanentes y número de fallas transitorias	Porcentaje de fallas transitorias con respecto a las fallas totales

Calibrar y validar el sistema de protecciones del Alimentador citado en tiempo real utilizando el programa computacional CYMDIST	Calibración y coordinación de las protecciones a través de la producción de corto circuitos	Datos de ajustes para la coordinación y calibración de protecciones los mismos que serán comprobados y validados	Programa computacional CYMDIST, licencia que dispone ELEPCO S.A.
--	---	--	--

Justificación

Con una apropiada coordinación de protecciones permite la protección del equipo en falla y su desconexión exclusiva, sin afectar a los demás equipos que no presentan anomalía en su operación. Una desconexión mínima de equipos reduce la frecuencia media de interrupción (FMIK) y el tiempo medio de interrupciones (TTMI), establecidos en la regulación 004/01 del ARCONEL, evita sanciones a las empresas distribuidoras [1].

El continuo crecimiento poblacional en el cantón La Maná y sus alrededores, provoca un incremento en la demanda de potencia y energía, problema que afecta la topología de la red, corrientes de cortocircuito y demás elementos y equipos de protección que en su momento fueron diseñados, lo cual ocasiona una falta de coordinación entre ellos y de esta manera hace que pierda las características de un sistema de protecciones como son: selectividad, sensibilidad, rapidez, confiabilidad y economía.

Esto se lo realiza con la implementación de los equipos seleccionados en el estudio del alimentador, haciendo un correcto ajuste, calibración y coordinación de protecciones mediante el análisis de flujos de potencia como de corto circuitos, utilizando el programa computacional CYMDIST.

Hipótesis: el redimensionamiento de la coordinación de protecciones a obtener es el adecuado, y proporcionará una continuidad de servicio eléctrico de calidad al usuario final.

CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA- METODOLÓGICA

1.1. Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte

Estudios relacionados con la coordinación de protecciones en el área de distribución han sido desarrollados en nuestro país, por otros investigadores en los últimos años, como son los trabajos realizados por los ingenieros: Vinicio Morales, Eduardo Chanatasig, Iván Mena y Diego Noroña, entre otros, los mismos que han empleado conceptos de: fusibles reconectadores, relés, incremento de la demanda, análisis de corrientes de cortocircuito, y flujo de potencia a través del programa CYMDIST, programa que ayuda en gran medida los ajustes adecuados de las protecciones [2], [3], [4].

El presente estudio denominado coordinación de protecciones del alimentador No 3 de la S/E La Maná, es analizado debido a que la demanda poblacional no cesa en su crecimiento, para lo cual la ELEPCO.S.A en los últimos años viene realizando este tipo de estudios en algunos alimentadores, tal es el caso de los alimentadores primarios a 13,8 kV de la S/E Pujilí, lo cual ha permitido tomar acciones correctivas de anomalías y fallas en el sistema, que de no hacerlo puede causar daños en los equipos y elementos que constituye un sistema de distribución, y por ende discontinuidad de servicio eléctrico al usuario final, dejando como resultado pérdidas económicas para la empresa y a nivel país.

1.2. Fundamentación Teórica

Para fundamentar el presente estudio es necesario citar los siguientes conceptos.

1.2.1. Protecciones eléctricas

Es un sistema de equipos que permite identificar condiciones de fallas dentro de un sistema eléctrico, localizarla y aislarla de manera eficiente, y tomar automáticamente las medidas necesarias para restituir su operación normal.

Teóricamente un equipo de protección debe despejar un cortocircuito en el menor tiempo posible, para disminuir al mínimo los daños, sin embargo hay condiciones transitorias que se asemejan a un cortocircuito y que no ameritan una desconexión, como por ejemplo, la corriente transitoria magnetizante de un transformador que al momento de conectar llega hasta 12 veces la corriente nominal, dicha corriente decrece rápidamente y al cabo de 6 ciclos es pequeña, es decir, entre más alta sea la corriente de cortocircuito menor debe ser el tiempo de operación, es decir la velocidad de operación de un equipo de protección, depende del tipo de circuito protegido, por lo tanto, todos los equipos de protección cumplen con esta función debido a su característica de tiempo inverso [4].

1.2.2. Consideraciones para un sistema de protecciones

Para diseñar un sistema eléctrico que se encuentre dotado de un sistema de protecciones adecuados capaz de salvaguardar tanto las condiciones de los equipos y cada uno de sus componentes y el de las personas se debe considerar las siguientes características detalladas en los siguientes subtemas [5].

1.2.2.1. Origen de las fallas

Las causas más frecuentes de las fallas en un sistema de potencia son las siguientes:

- Sobretensiones a causa de descargas atmosféricas
- Sobretensiones debido a maniobra.
- Ruptura de conductores, y estructuras a causa de los vientos, sismo, etc.
- Avería de aislamientos causado por roedores, aves y otros.
- Incendios.

1.2.2.2. Categoría de las fallas.

La categorización de las fallas en un sistema eléctrico de potencia está relacionada con el tiempo de duración las mismas, entre las cuales se describen las siguientes.

- **Fallas temporales.** Este tipo de falla tiene la característica de ser despejada antes de ocasionar daños severos, pueden ser despejados de forma autónoma o por dispositivos de despeje de falla que trabajan de forma eficaz reduciendo los daños, por ejemplo, uno de los más comunes es cuando los conductores se balancean generando contactos momentáneos [2].
- **Fallas Permanentes.** La característica principal de este tipo de falla es que persiste pese a que la velocidad con la que se realice la desconexión sea la apropiada, no es importante el número de desconexiones ya que aún existe la perturbación, uno de los ejemplos más comunes es cuando dos o más conductores entran en contacto debido a roturas de conductores, postes y estructuras, como también la caída de árboles en los conductores [5].

1.2.2.2. Zonas de Protección.

Los dispositivos de protección de un sistema eléctrico comprenden ciertas zonas de operación según su tipo, en la figura 1 se muestra el diagrama unifilar de un sistema eléctrico de potencia indicando las zonas de protección y las zonas de solapamiento [6].

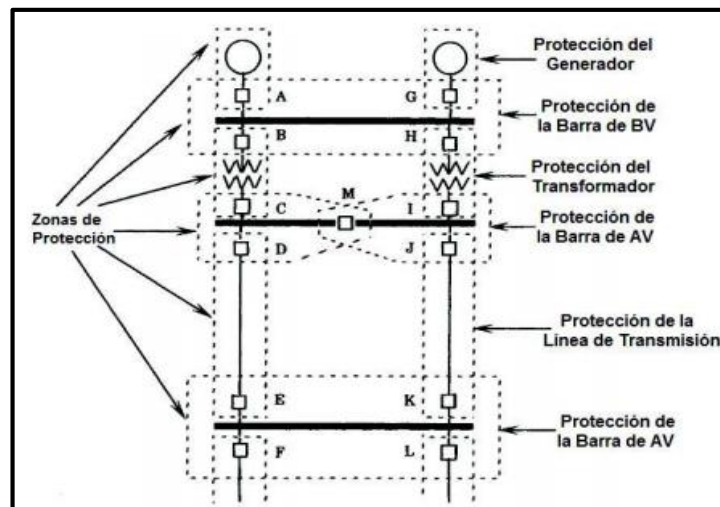


Figura 1. Zona de protección y solapamiento

1.2.2.3.1. Protecciones Principal y de Respaldo

- **Protección Principal.** Es la primera línea de defensa ante condiciones de falla y tiene que actuar lo más rápido posible [1].
- **Protección de Respaldo.** Es la segunda línea de defensa ante condiciones de fallas y opera por cualquier causa, la protección principal no opera, esta protección actúa con un retardo de tiempo mayor con respecto a la protección principal, de acuerdo a la localización de la protección que proporciona el respaldo puede ser local o remoto [1].
- **Protección de Respaldo Local.** Es una protección que está instalada en el mismo nodo que su correspondiente protección principal, el elemento común entre la protección principal y la de respaldo es el interruptor [1].
- **Protección de Respaldo Remoto.** Es una protección que se ubica en un nodo adyacente al cual está instalada a protección principal y tienen elementos constitutivos diferentes [1].

1.2.3. Sistema Eléctrico De Distribución

Un sistema eléctrico de distribución es un subsistema del Sistema Eléctrico de Potencia, se alimenta por medio de redes de transmisión y subtransmisión mediante subestaciones de distribución, las cuales nos permite distribuir la energía a los centros de consumo a través de los diferentes alimentadores, a continuación, se observa el esquema de un sistema de potencia [3].

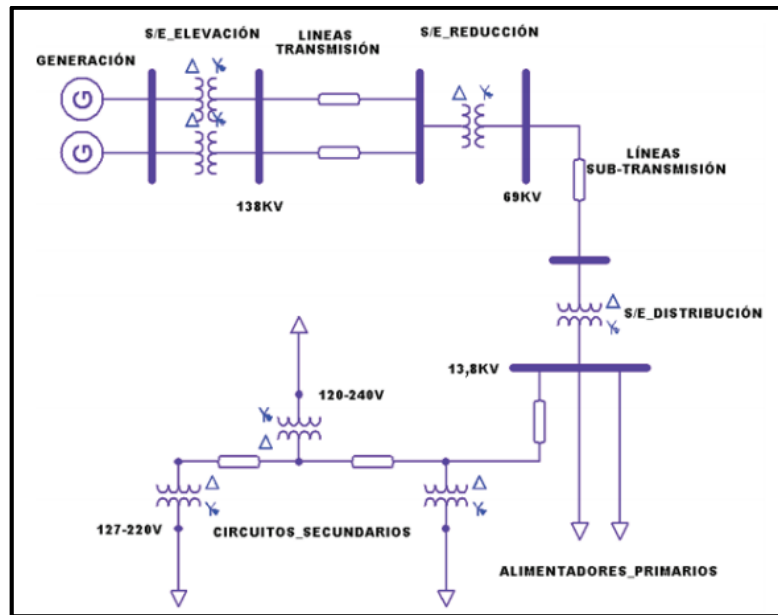


Figura 2. Sistema de distribución dentro de un sistema de potencia

1.2.3.1. Subestación de Distribución

Las subestaciones de distribución cuentan con un transformador de potencia el cual está destinado a reducir los voltajes que reciben de las líneas de subtransmisión de 69 kV a 13,8 kV; de esta manera se da origen a los circuitos de distribución primarios [7].

1.2.3.2. Circuitos Primarios

Son aquellos que recorren cada uno de los sectores urbanos y rurales suministrando energía a cada uno de los transformadores de distribución, de los cuales podemos distinguir tres tipos de alimentadores primarios: tipo rural con dos tipos de carga los que alimentan pequeños poblados, pequeñas industrias e iluminación, y los que alimentan grandes sistemas de bombeo, tipo urbano, son los que alimentan a grandes comercios, pequeñas industrias y tipo industrial son los que se caracterizan por grandes consumos de energía y están conformados por alimentadores principales o troncales y sus ramales laterales y sub laterales, para el alimentador No 3 de S/E La Maná el nivel de voltaje está definido: a 13,8 kV_{f-f}/ 7,96 kV_{f-n} [8].

1.2.3.3. Transformadores de Distribución

Los transformadores de distribución, es el equipo destinado en reducir el voltaje a niveles aplicables en las zonas de consumo.

13 800 V _{f-f} / 127 – 220 V	Transformadores trifásicos
7 960 V _{f-n} / 120 – 240 V	Transformadores monofásicos

1.2.3.4. Circuitos Secundarios

Son los encargados de transportar la energía eléctrica al usuario final en zonas residenciales y comerciales a nivel de voltaje:

13 800 V _{f-f} / 127 – 220 V	En circuitos trifásicos
7 960 V _{f-n} / 120 – 240 V	En circuitos monofásicos

1.2.3.5. Acometidas

Son los conductores que conectan el sistema eléctrico de la ELEPCO. S.A con las instalaciones de los usuarios, los mismos que pueden ser en MV o en BV [9].

1.2.4. Características de carga

La característica de la carga está determinada por el comportamiento del usuario en el sistema de distribución, para lo cual se cita los siguientes conceptos.

1.2.4.1. Carga Instalada

Denominada también potencia instalada, que es la relación entre la demanda máxima y la carga total instalada en el sistema eléctrico.

1.2.4.2. Capacidad Instalada

Proviene de la suma de las potencias nominales de los equipos instalados en un sistema de distribución como, por ejemplo: transformadores, generadores entre otros.

1.2.4.3. Demanda

Es la potencia consumida por la carga, tomando como valor medio en un intervalo de tiempo denominado intervalo de demanda, que por lo general es de 15 a 60 minutos, la demanda se expresa en: kVA, kW, kVAr, A [9].

1.2.4.4. Demanda Máxima

Es la mayor demanda instantánea que se presenta en una carga durante un intervalo de tiempo señalado, en este punto se presenta la máxima caída de voltaje, y por ende se tiene la mayor cantidad de pérdidas de potencia y energía [9].

1.2.4.5. Factor de Demanda

Es la relación entre la demanda máxima y su carga total instalada en un periodo de tiempo (t), este factor indica el grado al cual la carga total instalada opera simultáneamente, y por lo general es menor que uno.

$$FD = \frac{\text{Demanda Máxima}}{\text{Carga Instalada}} < 1 \quad \text{Ecuación (1.1)}$$

1.2.4.6. Factor de Utilización

Es la razón entre la demanda máxima y la capacidad instalada en un intervalo de tiempo (t), este factor indica la fracción de la capacidad del sistema, que se está utilizando durante el pico de carga [9].

1.2.4.7. Factor de Potencia

Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente, la incidencia más importante de este factor es en el porcentaje de pérdidas y en la regulación de voltaje.

$$\text{Factor de Potencia} = \frac{P}{S} \quad \text{Ecuación (1.2)}$$

Para los sistemas de distribución se establece que el valor del factor de potencia debe ser mínimo de 0,92 de acuerdo a la regulación N° 004/01 del ARCONEL.

1.2.4.8. Regulación de Voltaje.

Un sistema eléctrico de potencia bien diseñado debe ser capaz de entregar un servicio confiable y de calidad, para lo cual las empresas eléctricas de distribución deben regirse a tener una adecuada regulación del voltaje, así como de la frecuencia.

En las redes de distribución, las variaciones de voltaje están limitadas por las características de los consumos, estos sólo funcionan adecuadamente con tensiones cercanas a la nominal y admiten variaciones lentas que no sobrepasen un 3.5% de regulación. [9]

$$\Delta V(\%) = \frac{V_o - V}{V_o} * 100 \quad \text{Ecuación (1.3)}$$

Donde

$\Delta V(\%)$ = La regulación de voltaje en %

V_o = Voltaje sin carga

V = Voltaje con carga

1.2.5. Dispositivos de Protección para Alimentadores Primarios.

El sistema de protecciones para el sistema de distribución se compone principalmente por fusibles, reconectores, seccionadores y relés de sobre corriente, dichos dispositivos deben aislar las condiciones de falla en el sistema en el menor tiempo posible, siendo selectivos para poder desconectar la menor cantidad de equipos del sistema [10].

1.2.5.1. Fusible

El fusible es un dispositivo de protección comúnmente usado en redes de distribución, brinda protección contra sobre corriente, su principio de operación se basa en la fundición del elemento fusible cuando por este circula una corriente superior a la corriente de fusión, la característica de operación de un fusible se presenta mediante una curva tiempo-corriente con característica de tiempo inverso, como se muestra en la figura 3 [11].

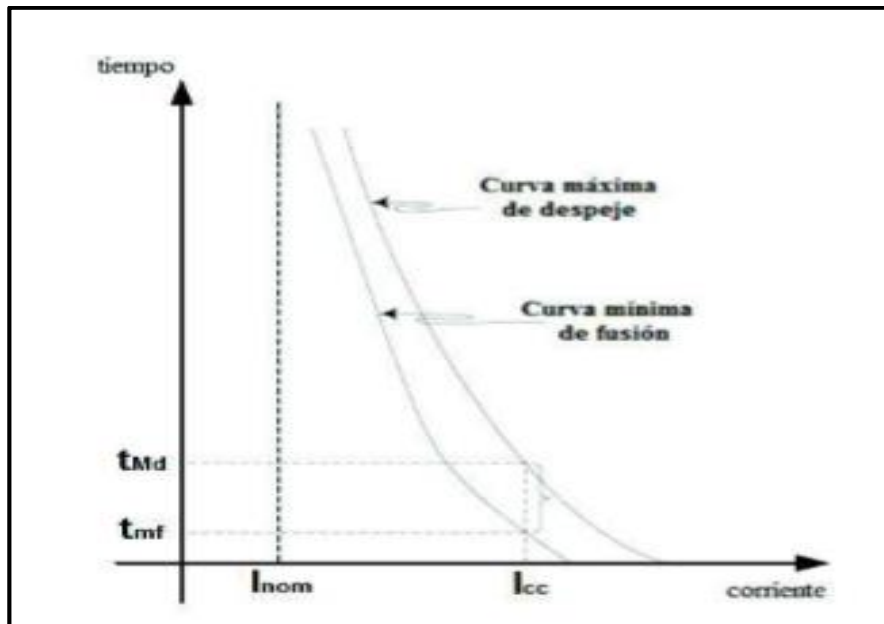


Figura 3. Curvas características de un fusible

En el mercado se halla una amplia variedad de fusibles entre los cuales se menciona los más utilizados, fabricados de acuerdo a las normas ANSI, IRAM, NEMA, y IEEE.

- **Fusible tipo K.** Conduce hasta el 150% de su corriente nominal sin daños, con relación de velocidad de 6 a 8, su curva tiempo-corriente con característica de tiempo inverso se presenta en la figura No 4.
- **Fusibles tipo T.** Son más lentos que los fusibles tipo K, su relación de velocidad varia de 10 a 13, estos se clasifican dentro de los lentos o retardados de 1 a 200 Amp, para voltajes de 4 a 34,5 kV, su curva tiempo-corriente con característica de tiempo inverso se presenta en la figura No 4.
- **Fusible tipo SR y VS (DUAL).** Son fusibles extra lentos, de doble elemento, manejan protecciones contra cortos y sobrecargas, obteniendo curvas características que representan una excelente protección, los fusibles tipo SR y VS, manejan relaciones de velocidad de 20 y 30 para un régimen de 6 a 100 Amp [4].

- **Fusible tipo H.** Este tipo de fusibles conduce hasta el 100 % de su corriente nominal sin daño, con relación de velocidad de 7 a 11.
- **Fusibles tipo N.** Este fusible conduce hasta el 100 % de su corriente nominal sin daño, son más rápidos que los fusibles H.

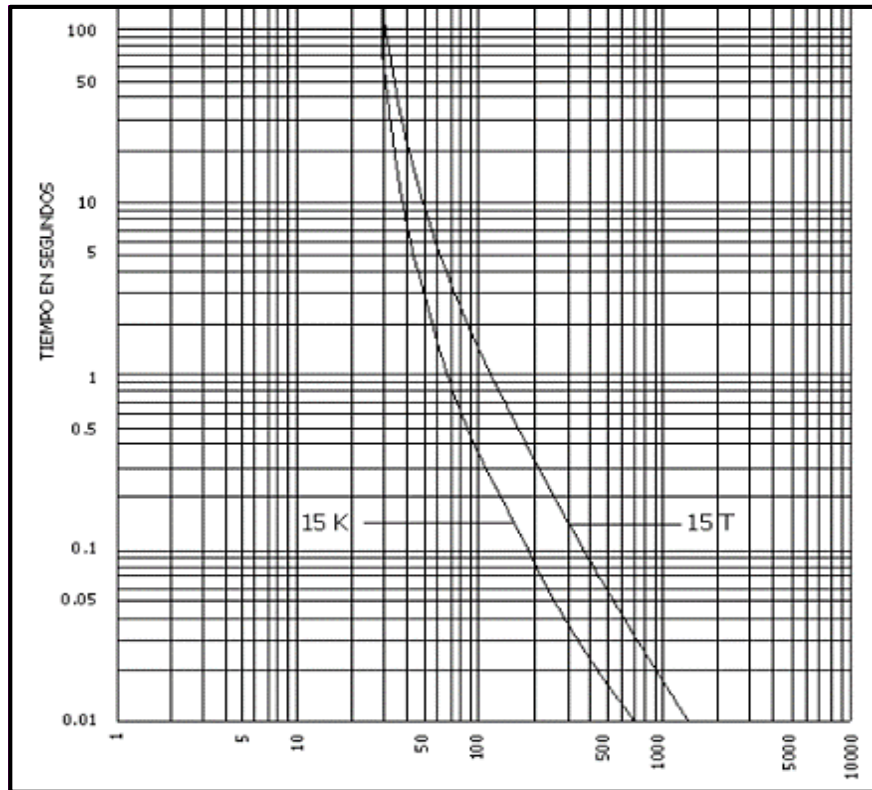


Figura 4. Curvas tiempo-corriente de fusibles tipo T Y K

Sensibilidad de un fusible.

Para identificar si un fusible es sensible este no debería tener su curva característica por encima de la curva de conducción del conductor, y la mínima corriente de cortocircuito del ramal debe ser mayor a la corriente de fusión para que se pueda detectar la falla, el coeficiente de sensibilidad se determina mediante la ecuación 1.4 [12].

$$K_s = \frac{I_{cc \min}}{I_{ajuste}} \quad \text{Ecuación (1.4)}$$

En donde:

Ks: coeficiente de sensibilidad

I ccmin: Corriente mínima de cortocircuito

I ajuste: Valor de ajuste de la protección.

1.2.5.2. Reconectador

Es un equipo de interrupción cuando se presenta una falla eléctrica temporal con la capacidad de recierre automático ajustable, monitoreo, y operación tele mandada, dentro de sus características es soportar corrientes de cortocircuito en la línea que protegen, y entre sus principales partes sobresaliente tenemos el mecanismo de indicación abierto, palanca de apertura, actuador magnético, conector primario, entre otros elementos como se indica en la figura 5.

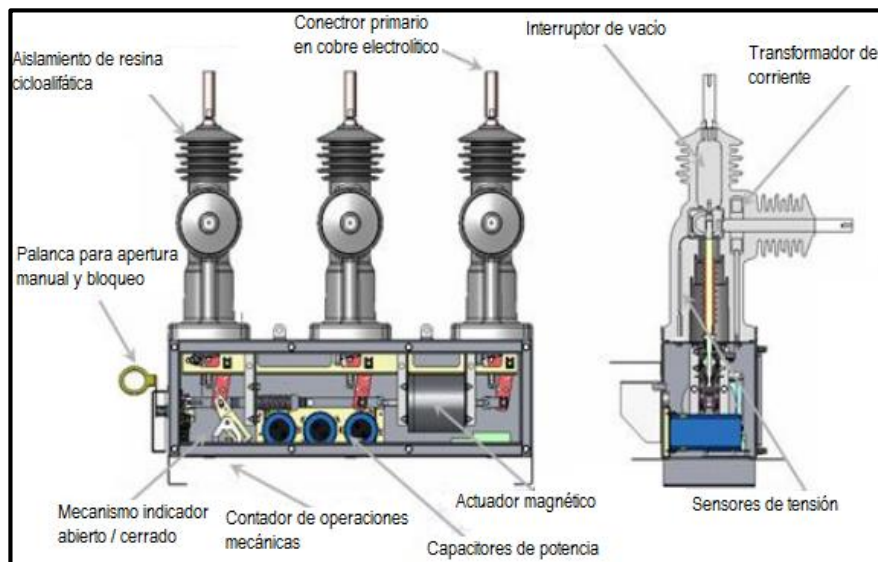


Figura 5. Partes de un reconectador

Este equipo es capaz de detectar una sobre corriente, interrumpirla y conectar automáticamente la línea afectada. Posee un control que permite la ejecución de algunas reconexiones sucesivas, pero si la falla es de carácter permanente el reconectador abre definitivamente después de un número programado de operaciones (cuatro como máximo).

El equipo utiliza interruptores cuya operación es tripolar y el vacío como medio de extinción de arco aislado con Hexa-fluoruro de Azufre (SF6), siendo operado por un actuador magnético único tanto para apertura como para el cierre, las cámaras de vacío no requieren de ningún tipo de mantenimiento, sin embargo, una vez que

cumple su vida útil deben ser reemplazados, los tiempos de apertura son establecidos por medio de las curvas características tiempo-corriente [13].

Generalmente se usan en una de las siguientes posiciones:

- A una gran distancia de la subestación para separar grandes alimentadores, y prevenir la interrupción total de la línea de distribución al encontrar una falla aguas abajo del reconectador.
- En las troncales de los alimentadores principales, al presentarse daños aguas abajo del reconectador [12].

1.2.5.3. Relé de Sobre corriente

El principio de operación se basa en la detección de condiciones de sobre corriente en un sistema eléctrico, si la corriente medida por el relé es mayor al valor de referencia establecido, este envía una señal de apertura al disyuntor asociado para la desconexión del elemento bajo falla. Para una adecuada protección de sobre corriente se debe tomar en cuenta los siguientes conceptos [14].

- **Corriente mínima de operación.** Es el valor de corriente para que el relé de sobre corriente inicie su operación a esta variable se conoce como corriente “pick – up” [5].
- **Tiempo de Operación.** Es el tiempo con el que el relé actúa, y de acuerdo a la operación puede ser de carácter instantáneo o temporizado, las curvas tiempo-corriente dependen del tipo de relé.

1.3. Fundamentación metodológica

El presente estudio de Coordinación de Protecciones del Alimentador Primario N°3 de la S/E La Maná es de carácter cualitativo como cuantitativo, puesto que hay que describir y cuantificar los resultados obtenidos, para lo cual partiremos de una investigación mixta, de diseño de investigación **NO EXPERIMENTAL**, en el que se aplica tanto la investigación cuantitativa como cualitativa, basadas en la temporalización de la investigación.

1.3.1. Tipos de Investigación

Los tipos de investigación a emplear en el presente estudio son los siguientes [15].

1.3.1.1. Investigación bibliográfica

Es un tipo de investigación que se basa en conocer el estado del tema, búsqueda, recopilación, organización, valoración crítica e información bibliográfica sobre un tema específico, pues evita la dispersión de publicaciones o permite la visión panorámica de un problema [15].

1.3.1.2. Investigación de campo

Este tipo de investigación se centra en hacer el estudio donde el fenómeno se da de manera natural, de este modo se busca conseguir la situación lo más real posible. Se pueden incluir experimentos de campo usando metodología cualitativa [15].

1.3.1.3. Investigación descriptiva

En esta clase de metodología no se puede realizar manipulación de variables, estas se observan y se describen tal como se presentan en su hábito natural, su metodología es básicamente descriptiva, aunque puede valerse de algunos elementos cuantitativos y cualitativos, el caso de estudio el longitudinal.

1.3.2. Método de investigación

El método de investigación aplicar para el estudio de coordinación de protecciones del alimentador # 3 de la S/E La Maná es:

1.3.2.1. Método hipotético deductivo

El método hipotético deductivo manifiesta que a través de observaciones realizadas de un caso particular se plantea un problema, el cual con lleva a un proceso de inducción que remite el problema a una teoría para formular una hipótesis, que a través de un razonamiento deductivo pretende validar la hipótesis.

1.3.3. Técnicas, Equipos e Instrumentos

El presente estudio se realizará en las instalaciones de la ELEPCO S.A, tanto en el campo, como con la información proporcionada por la misma, entre esta información están: flujos de carga, corrientes de cortocircuito, datos técnicos de relés de la S/E La Maná, reconector y fusibles instalados en el alimentador, como también el Software CYMDIST, con la finalidad de implementar de forma eficiente la coordinación de protecciones del mismo.

El sistema de protecciones tiene por objetivo, la detección, localización y desconexión de manera automática el elemento afectado ante la presencia de fallas permanentes o temporales, con la finalidad de proteger la vida útil de los equipos y la seguridad del recurso humano, proporcionando de esta manera información necesaria para ubicar la falla y restablecer el servicio eléctrico, de tal manera de brindar al usuario final continuidad del mismo.

Para cumplir con estos objetivos, el sistema de coordinación de protecciones a instalarse en el alimentador primario N° 3 de la S/E La Maná, debe satisfacer las siguientes condiciones de operación:

1.3.4. Condiciones de Operación en un Sistema de Protecciones

- **Selectividad**

Es la característica de un sistema de protecciones que permite al dispositivo más cercano a la falla realizar la desconexión únicamente del elemento fallado [16].

- **Sensibilidad**

Los dispositivos de protección tienen que identificar correctamente entre condiciones de falla y condiciones normales de operación.

- **Rapidez**

Una vez detectada la falla el sistema de protecciones debe aislar lo más pronto posible, cuanto menor sea el tiempo en el que se despeja la falla sus efectos se extenderán menos en el sistema y los daños serán menores.

- **Confiabilidad**

Es la probabilidad de que un dispositivo de protección funcione correctamente cuando se requiere que este opere [17].

- **Economía.**

La instalación de un sistema de protecciones debe ser justificada técnica y económicamente. Los dispositivos de protección evitan que una falla se disperse en el sistema eléctrico y llegue a otros equipos ocasionando averías en el servicio eléctrico; además la correcta actuación de un dispositivo de protección disminuye los tiempos fuera de servicio y los costos de reparación por daños [16].

Para el análisis de los datos se realizará la modelación digital enfocada a los sistemas de distribución detallando las características propias de los sistemas de distribución incluyendo los equipos y elementos de protección mediante el programa computacional CYMDIST.

1.4. Conclusiones Capítulo I

El método a utilizar en el análisis del alimentador primario No 3 de S/E La Maná, es un método mixto, puesto que hay que describir y cuantificar los resultados.

Los conceptos extraídos de las diferentes bibliografías para el tema de estudio que es el análisis de coordinación de protecciones se emplearan en todo su desarrollo.

Es importante conocer los antecedentes y datos históricos de las fallas, sean estas transitorias o permanentes que se han producido durante su operación, a partir de lo cual se desarrollará el tema en cuestión.

CAPÍTULO II. PROPUESTA

2.1. Título del proyecto

COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR No. 3 DE LA S/E LA MANÁ A 13,8 kV PARA ELEPCO S.A.

2.2. Objetivo del proyecto

Desarrollar el estudio de coordinación de protecciones en el alimentador No. 3 de la S/E La Maná a 13,8 kV para la ELEPCO S.A.

2.3. Justificación de la propuesta

2.3.1. Descripción del alimentador

El alimentador No. 3 de la S/E la Maná, alimenta a un total de 301 transformadores, con una potencia nominal total conectada de 11,28 MVA a un nivel de voltaje de 13 800 V, la carga en condiciones de demanda máxima es de 3 108 kVA, 2 986 kW y 863 kVAr. El número total de clientes beneficiados hasta la fecha es de 11 280.

Con los datos proporcionados por ELEPCO S.A, y los obtenidos en el levantamiento de campo, se procede con el análisis actualizado del sistema de coordinación de protecciones del alimentador citado, con la finalidad de mejorar el servicio eléctrico, estos datos se adjuntan en el temario de **anexos**.

El 95 % de carga de este alimentador se caracteriza por ser del tipo residencial y el 5% pertenece a la zona industrial. En la Figura 6 se observa el alimentador modelado en CYMDIST.

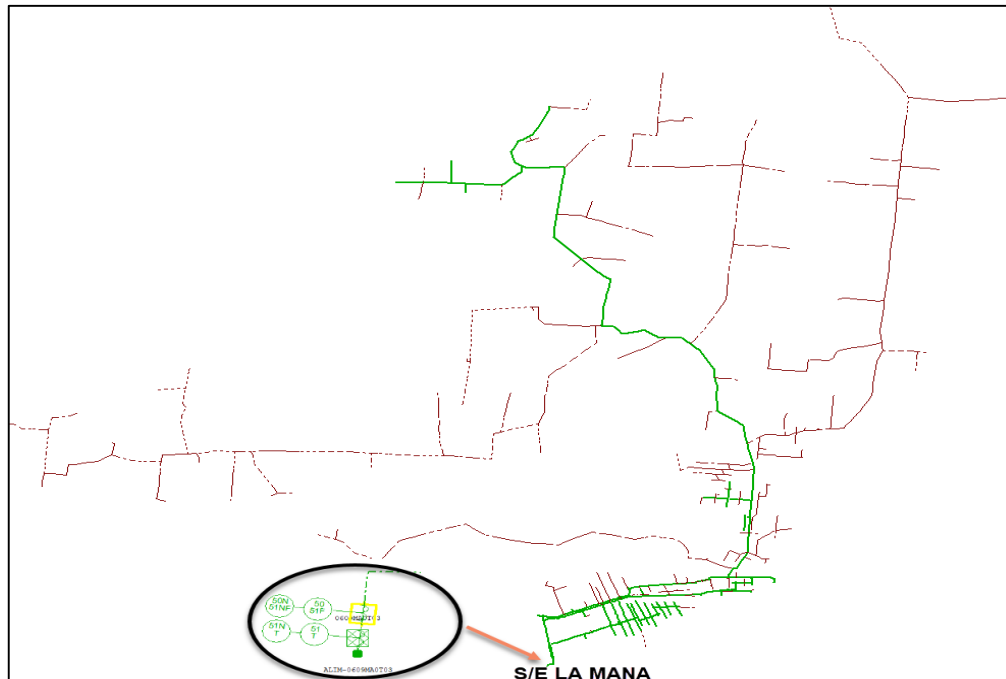


Figura 6. Alimentador No 3 modelado en el programa de simulación de redes eléctricas CYMDIST

En la Figura 6 se observa el diagrama unifilar del alimentador en estudio, representando a la red trifásica de color verde y, la red monofásica de color café. Cabe mencionar que en este alimentador no existe redes bifásicas. La subestación La Maná está representada por un equivalente de red en barra de 13,8 kV con los parámetros de resistencia e impedancia de secuencia positiva y negativa.

El alimentador No. 3 de la S/E La Maná, está compuesto por un total de 26,22 km de red aérea trifásica, 3,96 km de red subterránea trifásica, 76 km de red monofásica aérea y 1,24 km de red monofásica subterránea, también tiene instalado actualmente un reconectador tipo RESEAD a unos 5 Km de la S/E, a través del cual, los fusibles instalados, los relés de sobre corriente y los datos de placa del transformador de la S/E se hará la coordinación de protecciones respectiva.

2.4. Fundamentación de la propuesta

En base a la topología actual del sistema de distribución de la subestación La Maná de ELEPCO S.A., misma que cuenta con equipos de protección electromecánicos

para todos los alimentadores, se evidencia la necesidad de contar con una adecuada coordinación de protecciones, de esta forma incrementar la selectividad, sensibilidad y rapidez ante posibles eventos de falla en las redes de 13,8 kV.

Es importante mencionar que debido a la posible mala coordinación de protecciones entre los elementos instalados en el alimentador No. 03 de la S/E La Maná, los índices de calidad de la prestación del servicio eléctrico de distribución son afectados, principalmente la Frecuencia Media de Interrupción por kVA nominal Instalado (FMIK) y el Tiempo Total de interrupción por kVA nominal Instalado (TTIK), de acuerdo a lo descrito en la REGULACIÓN No. CONELEC – 004/01, “CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN”.

Para mejorar la confiabilidad y calidad del servicio eléctrico del alimentador N° 3 de la subestación La Maná (13,8 kV), se realizó la verificación de los elementos de corte-seccionamiento y protección que están instalados en la correspondiente red de distribución, a partir de lo cual se ejecutó el estudio de coordinación de protecciones correspondiente.

2.5. Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados

Previo al desarrollo del estudio de coordinación de protecciones, se debe definir ciertos factores y parámetros de la red eléctrica de distribución, de tal manera que, la selección de fusibles y ajustes de protección de los relés y reconectores, garanticen una operación selectiva, confiable y rápida, para lo cual, en este informe se define la siguiente estructura metodológica:

1. Definir la corriente en condiciones de demanda máxima que circulará por cada tramo de red, para lo cual, se ejecuta un flujo de carga y los resultados de corriente obtenidos, se los multiplica por un factor de crecimiento del 5% en caso de transferencia de carga hacia el alimentador en análisis o por incremento normal de la carga.

2. Con los datos obtenidos en 1, verificar si los fusibles existentes están dimensionados acorde a la corriente que circula en demanda máxima, de lo contrario, determinar un fusible adecuado para evitar disparos por sobrecarga.
3. Una vez que los fusibles estén dimensionados acorde a la condición de carga máxima, se debe determinar los ajustes del reconector a ser instalado y del relé de cabecera de alimentador instalado en la subestación.
4. Ejecutar el cálculo de corrientes de cortocircuito en el punto más cercano a cada elemento de protección para determinar la corriente máxima de cortocircuito que este elemento de protección estará sometido.
5. Con los datos obtenidos en 4, se procede a coordinar el sistema de protecciones del alimentador, de ser el caso, se puede incrementar la capacidad de los fusibles, ajustes de relé y de reconector, garantizando que las protecciones actúen de manera selectiva, rápida y confiable frente a un evento de cortocircuito en su zona de protección.

La simulación de flujos de carga, cortocircuitos y coordinación de protecciones y, la modelación de fusibles, reconector y relé, se lo realiza en el programa de simulación de redes eléctricas CYMDIST, para lo cual debemos tener presente los siguientes términos:

2.5.1. Distribución de carga

En el análisis de una red eléctrica, los datos de carga, potencia activa y reactiva, deben ser especificados como parámetros de entrada, los datos proporcionados dependerán de que tan detallado se debe modelar el alimentador y la disponibilidad de los datos de carga del cliente.

Varios métodos han sido desarrollados capaces de realizar una distribución de carga adecuada en alimentadores primarios de distribución, con el objetivo de tener una red muy próxima a la real y así reducir el grado de incertidumbre de la misma, pero, estos métodos de distribución no son del todo exactos debido a la carencia de información de carga de cada cliente y factores de diversidad de la red, la principal

desventaja de asignar carga utilizando los factores de diversidad es que la mayoría de las empresas distribuidoras no disponen de una tabla de estos factores.

El proceso de desarrollo de dicha tabla generalmente no es rentable, la principal desventaja del método de gestión de la carga del transformador es que se requiere una base de datos que especifique qué transformadores sirven a qué clientes. Nuevamente, esta base de datos no siempre está disponible.

La asignación de carga basada en las lecturas medidas en la subestación requiere la menor cantidad de datos, la mayoría de los alimentadores contarán con medición en la subestación que, como mínimo, proporcionará la demanda total máxima de kW o kVA diversificada trifásica y/o la corriente máxima por fase de un intervalo de tiempo determinado [18].

Las potencias nominales, kVA , de todos los transformadores de distribución es un dato conocido en cada alimentador al igual que el consumo mensual de energía de cada cliente, kWh . Las lecturas medidas se pueden asignar a cada transformador según sea su consumo mensual de energía, la Ecuación 2.2 y Ecuación 2.3 muestran las ecuaciones utilizadas por el programa computacional CYMDIST que coinciden con el criterio de distribución de carga en base a la lectura de carga del medidor en cabecera del alimentador primario y al consumo mensual de energía de los clientes [19].

$$TkWh(k) = \sum_k kWh_{consumo-cliente}(k) \quad (2.1)$$

Ecuación 2.1 Energía Total de los Clientes del Alimentador Primario

$$kW_{Distribuida}(k) = kW_{med}(k) \cdot \left[\frac{kWh_{consumo-cliente}(k)}{TkWh(k)} \right] \quad (2.2)$$

Ecuación 2.2 Potencia Activa Distribuida en Transformadores o Clientes del Alimentador Primario

$$kVAR_{Distribuida}(k) = kVAR_{med}(k) \cdot \left[\frac{kWh_{consumo-cliente}(k)}{TkWh(k)} \right] \quad (2.3)$$

Ecuación 2.3 Potencia Reactiva Distribuida en Transformadores o Clientes del Alimentador Primario

En base a toda la información recopilada de ELEPCO S.A, y del levantamiento de campo del alimentador en estudio, la aplicación del programa CYMDIST para determinar la adecuada coordinación de protecciones emplea la metodología que consideran una medición real del medidor instalado en cabecera del alimentador primario, como también, en el caso de tener más de un punto de medición real distribuida adecuadamente en la red, para lo cual CYME tiene la flexibilidad de incluir dichas mediciones en su algoritmo de reparto de carga.

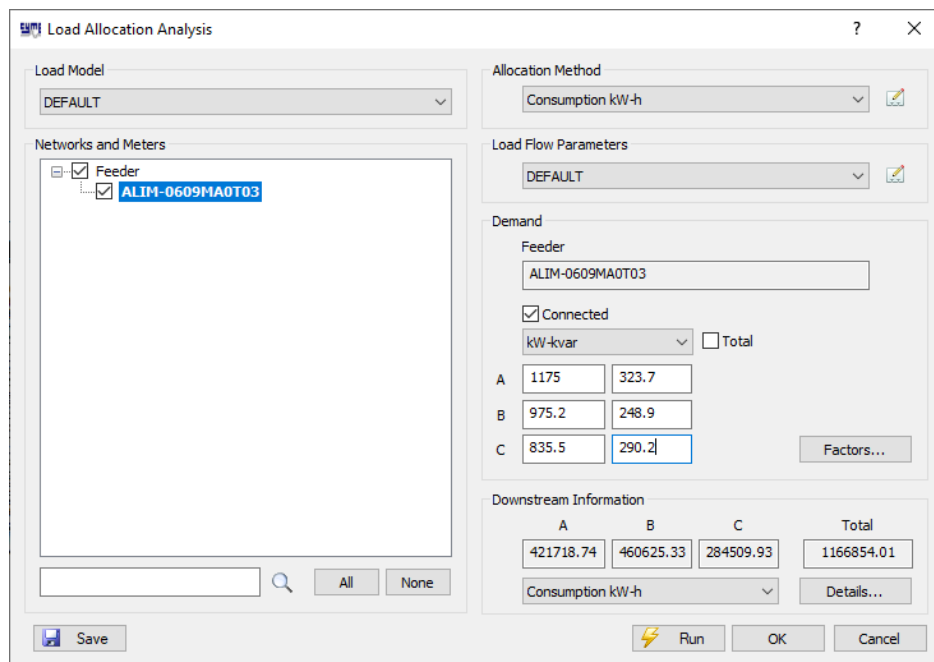


Figura 7. Ventana de distribución de carga del programa computacional CYME

En la Figura 7 se muestra la ventana de distribución de carga disponible en CYME, los parámetros definidos en esta ventana son los considerados en este estudio y acorde a lo mencionado en el párrafo anterior, la metodología de distribución seleccionada es la que considera el consumo mensual de energía de cada cliente.

La información de potencia activa y reactiva en horario de demanda máxima fue provista por el departamento de subtransmisión de la ELEPCO S.A, esta información es el parámetro de entrada para que el algoritmo en CYME ejecute la distribución. Una vez que se haya ejecutado este proceso, se puede continuar con el estudio de flujo de carga.

2.5.2. Flujo de carga

El flujo de carga es un método de análisis numérico para la determinación del estado de los Sistemas Eléctricos, como herramienta de análisis, cobra mayor importancia en el sistema de gestión eléctrica actual, esta herramienta no sólo permite conocer el estado de la red en un momento determinado, sino que, también permite realizar aplicaciones como despacho de generación distribuida, equilibrio de fases, control de tensiones, ubicación óptima de capacitores, análisis de contingencias y estudios de planificación de corto plazo.

Actualmente se han desarrollado nuevas metodologías de flujo de carga que explotan la radiabilidad del circuito, es decir, no requieren inversión de la matriz Jacobiana al utilizar técnicas conocidas como el de Gauss Seidel o el algoritmo de barrido hacia atrás/adelante.

Típicamente, el flujo de carga de barrido, presentan una tasa lenta de convergencia, sin embargo, son altamente eficientes desde el punto de vista computacional porque no es necesario invertir matrices; hecho que resulta importante al resolver redes de gran tamaño.

Con las herramientas computacionales disponibles en la actualidad, se ha reducido considerablemente el tiempo empleado en obtener una solución del flujo de carga en redes de distribución radiales de gran tamaño, para nuestro caso de estudio se considera el algoritmo de barrido hacia atrás/adelante, el mismo que se compone de dos partes [18].

- Barrido hacia Adelante. Consiste en calcular el voltaje en todos los nodos, desde la fuente hasta la carga.
- Barrido hacia Atrás. Consiste en calcular la corriente que fluye en las líneas de distribución desde la carga hacia la fuente.

La aplicación del algoritmo, inicia con un primer barrido hacia adelante, asumiendo que no se tiene carga, es decir, la corriente que fluye por las líneas de distribución

es cero, por lo tanto, el voltaje en los nodos va a ser igual al voltaje de la fuente, esta explicación se muestra matemáticamente en la Ecuación 2.4, en donde $[I_{abc}]_{line} = 0$, para la primera iteración hacia adelante [20].

$$[V_{LGabc}]_m = [V_{LGabc}]_n - [Z_{abc}][I_{abc}]_{line} \quad (2.4)$$

Ecuación 2.4 Voltaje en el nodo "m"

Al finalizar cada iteración del barrido hacia adelante, se debe calcular el error en todos los nodos aplicando la Ecuación 2.5.

$$\frac{V_n - V_{n-1}}{V_{nominal}} \leq Tolerancia \quad (2.5)$$

Ecuación 2.5 Cálculo del error del algoritmo después de la iteración "n" del barrido hacia adelante

Si no se cumple la inecuación anterior en todas las fases y nodos; con el voltaje encontrado en los nodos, se debe calcular la corriente de la carga y, aplicando la ley de Kirchhoff de corriente, encontrar la corriente que fluye por las líneas, este paso es la primera iteración del barrido hacia atrás, la corriente en la carga se encuentra aplicando la Ecuación 2.6 [18].

$$I_n = \left(\frac{S_n}{V_n}\right)^* \quad (2.6)$$

Ecuación 2.6 Cálculo de corriente

Una vez que se obtuvo la corriente en las líneas, se aplica nuevamente la Ecuación 2.4 para encontrar los voltajes en los nodos, desde la fuente hacia la carga, considerando que, el voltaje de la fuente es un dato conocido, por lo cual, va a ser constante durante toda la ejecución del algoritmo y que, $[I_{abc}]_{line} \geq 0$, este sería la segunda iteración del barrido hacia adelante.

Después del barrido hacia adelante, se calcula nuevamente el error aplicando la Ecuación 2.5, si esta ecuación se cumple, se dice que el algoritmo convergió a la iteración "n" y se da por terminado este proceso, caso contrario, continúa la ejecución del algoritmo de barrido hacia atrás/adelante, tal como se describió anteriormente [18].

Este es el algoritmo considerado en CYME para el análisis de flujo de carga del alimentador No. 3, a continuación, se muestran y analizan los resultados obtenidos.

2.5.3. Análisis del Perfil de Voltaje del Alimentador de Distribución

Una vez que se ejecuta el flujo de carga, un parámetro importante a evaluar es el perfil de voltaje en los nodos de la red, para lo cual, CYME dispone de una herramienta que permite visualizar el voltaje en todos los nodos en una gráfica de distancia vs voltaje, tal como se muestra en la Figura 8.

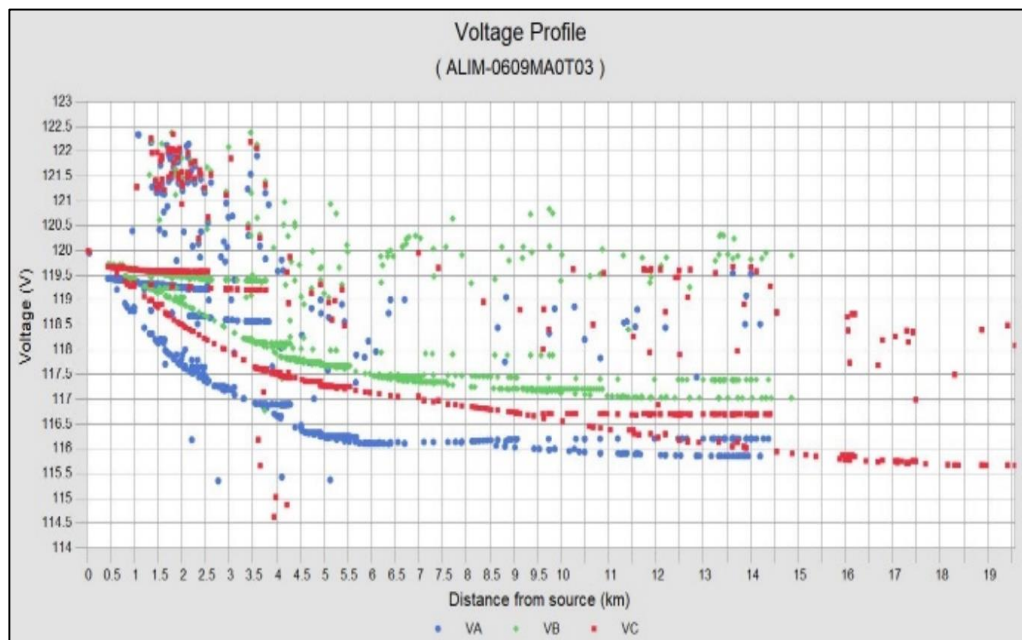


Figura 8. Perfil de Voltaje en Demanda Máxima del Alimentador No. 3

En esta figura se puede observar que el alimentador presenta niveles de voltaje que están dentro de la banda permitida por el ente regulador (REGULACIÓN No. CONELEC – 004/01, “CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN”), $120\text{ V} \pm 8\%$, 110,4 V – 129,6 V.

2.5.4. Análisis de Cargabilidad de Equipos del Alimentador

Tomando en cuenta que la mayor parte de los fusibles existentes incorporados en la troncal del alimentador como en sus derivaciones son de tipo **T**, es necesario determinar si estos presentan problemas de sobrecarga, se ejecuta la herramienta de análisis de sobrecarga disponible en CYME, los resultados de este análisis se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 Análisis de equipos sobrecargados

Equipment No	Equipment Id	Code	I Nominal Fuse (A)	I Max Fuse (A)	IA (A)	IB (A)	IC (A)	IA*1.05 (A)	IB*1.05 (A)	IC*1.05 (A)	Loading A (%)	Loading B (%)	Loading C (%)
94656-SF	65T	Fuse	65	97.5	94.03	77.50	75.09	98.74	81.37	78.85	101.27	83.46	80.87
9382	40T	Fuse	40	60.0	80.90	77.42	74.29	84.94	81.29	78.00	141.57	135.49	130.00
123162-SF	25T	Fuse	25	37.5	41.82	51.09	27.66	43.91	53.64	29.04	117.09	143.04	77.44

Cabe mencionar que, el porcentaje de sobrecarga se calcula tomando en cuenta la corriente máxima que soporta el fusible, más no la corriente nominal, esto debido a que, por ejemplo, un fusible 65T soporta hasta una corriente de $65 \times 1.5 = 97,5 [A]$ acorde a la recomendación del fabricante. Además, la corriente en demanda máxima actual se multiplica por un factor de 1,05 acorde a lo mencionado anteriormente.

En base a este antecedente, el fusible 40T debe ser reemplazado por uno de mayor capacidad, por lo cual se selecciona un fusible 50T. De igual manera, el fusible 25T debe ser reemplazado por un fusible 40T, de tal manera que se evite la operación del mismo en condiciones de demanda máxima, el fusible 65T no se recomienda cambiarlo, puesto que una alternativa sería balancear las fases aguas abajo de este equipo de tal manera que, la carga de la fase “A” se reduzca en al menos 10 [A]. En la Figura 9 se observa que los fusibles que presentan problemas están ubicados en la troncal principal trifásica.

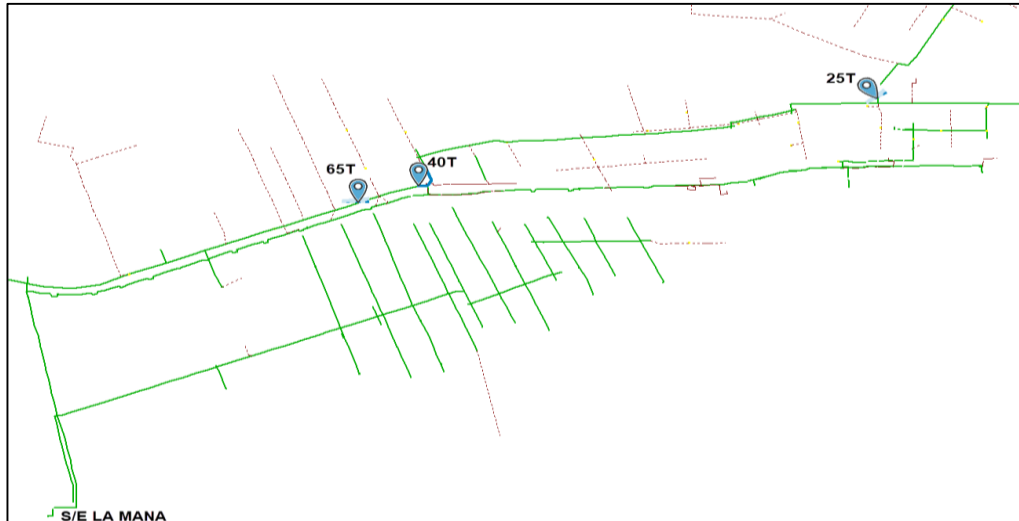


Figura 9. Ubicación de los fusibles 65 T, 40T y 25T que presentan sobrecarga

Una vez que se actualice la base de datos cambiando la capacidad de los fusibles mostrados en la tabla 1, se procede con el desarrollo del estudio de coordinación de protecciones del alimentador No. 3 de la S/E La Maná, bajo los siguientes criterios.

2.5.5. Criterios para la selección, ajuste y coordinación de dispositivos de protección.

2.5.5.1. Criterios para la selección de fusibles.

Para seleccionar los fusibles se debe tener en cuenta lo siguiente:

- a) La capacidad de interrupción de la corriente debe ser tal, que el fusible interrumpa sin riesgos la corriente de falla más elevada en el punto de la instalación.
- b) Las características de limitación de corriente deben ser tales que restrinjan la corriente de paso libre en las fallas, reduciéndose así al mínimo la posibilidad de averías en los componentes del circuito.
- c) El período de retraso en las corrientes de sobrecarga debe ser tal que el fusible no se queme innecesariamente a causa de sobrecargas pasajeras, pero si debe proteger contra sobrecargas peligrosas.

La principal función es la de despejar cualquier falla de sobre corriente que se presente tanto en el transformador como en la alimentación del lado primario,

coordinando con la protección del lado secundario para tener una protección total del equipo, las empresas eléctricas con sus estudios realizados han coincidido que para asegurar la protección del transformador con una adecuada selección del fusible se basan en la filosofía de la baja relación de fusión del mismo, por lo que son seleccionados tan pequeños como sea posible con el propósito de tener una máxima protección contra sobrecargas.

Cuando se da tormentas y estas son acompañadas de descargas eléctricas se pueden presentar un sin número de salidas por quema de fusibles en transformadores y en otros casos con la quema de los transformadores, la quema de los fusibles se debe a las corrientes transitorias Inrush que se generan por la saturación del núcleo del transformador y por voltajes transitorios inducidos en el mismo, con la finalidad de reducir el número de fusibles quemados, los fabricantes han demostrado con las curvas tiempo corriente que el uso de fusibles tipo SR y VS evitan este problema [4].

2.5.5.2. Criterios de Ajuste de la Protección temporizada e instantánea de relés fase y neutro.

Uno de los fenómenos que ocurren durante las anomalías y en especial durante los cortocircuitos, es el aumento de la corriente que sobrepasa muchas veces los valores normales de operación, esta manera de discriminar la ocurrencia de fallas se utiliza ampliamente, ya sea como protección principal o de respaldo, las variables muy importantes a tomar en cuenta en estos relés son [4]:

- El nivel de corriente mínima de operación
- La característica de tiempos de operación

La corriente mínima de operación (I_{op}), también se la conoce como corriente de “pick up”, es la encargada de producir el cambio de estado en el relé. Por las características de tiempos de operación se pueden subdividir como se muestra en la figura 10 [4]:

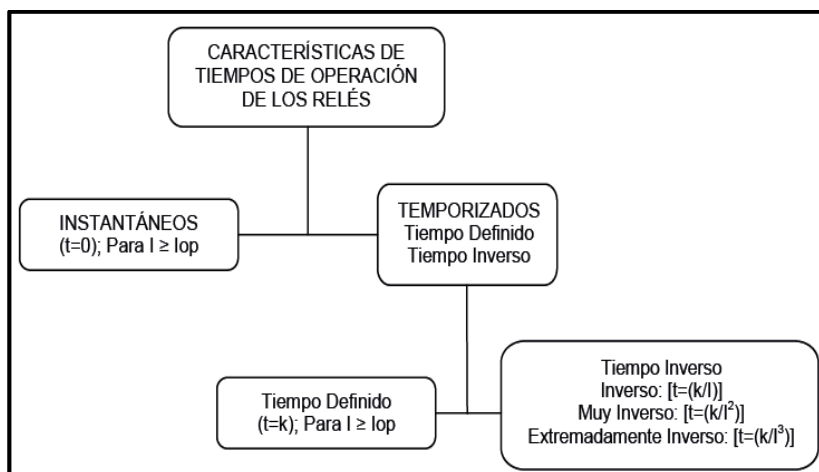


FIGURA 10. Características de tiempos de operación de relés

Para el caso de los relés de tiempo definido e inverso se los puede calibrar mediante la selección de los siguientes parámetros [4].

TAP: dispositivo que permite variar la sensibilidad del relé, permitiéndole que opere con distintos valores de corriente, está dada en amperios y es un valor que define la corriente de pick up o de arranque del relé.

$$I_{pick-up} = TAP * RTC \quad \text{Ecuacion (2.7)}$$

Dónde:

RTC: Relación de Transformación de corriente.

Para los relés de fabricación americana, el TAP y la $I_{pick-up}$ suelen ser las mismas, mientras que para los europeos especialmente en los ingleses estos valores pueden ser diferentes.

Para el módulo de fase, el valor del TAP se determina dando al relé de sobrecorriente un carácter de relé de sobrecarga, eligiendo un ajuste de 1.5 veces la corriente nominal así:

$$TAP = \frac{1.5xI_N}{RTC} \quad \text{Ecuación (2.8)}$$

Para el módulo de falla a tierra, el valor del TAP se determina tomando en cuenta el desbalance máximo que podría existir en el sistema bajo condiciones de

operación normal, que según la experiencia se ha determinado un 30 %, entonces la expresión para fijar este TAP sería:

$$TAP = \frac{0.3xI_N}{RTC} \quad \text{Ecuación (2.9)}$$

Dónde:

I_N : Corriente nominal

Para el ajuste de los relés de fase se usará la corriente de cortocircuito bifásica por ser la más común de las fallas de fase, mientras que para los de falla a tierra se debe tomar en cuenta la corriente de cortocircuito fase-tierra.

DIAL: este constituye el retardo de tiempo antes de que el relé opere, siempre que la corriente de falla alcance un valor igual o mayor que la corriente de pickup, este dispositivo varía los tiempos de operación de un relé, en la calibración del relé de sobrecorriente se puede utilizar la opción de retardo o temporización y respaldarla por la opción instantánea dentro de la misma unidad.

Para el ajuste del elemento instantáneo se debe usar la corriente de cortocircuito en el punto de instalación del relé, tanto para fase como para tierra, en el ajuste del módulo de temporización se debe tomar en cuenta la unidad de protección más alejada con la cual se desea coordinar, para que este no actúe antes, afectando así el menor tramo de red posible [4].

- El ajuste de la corriente de arranque de la protección temporizada de fase, 51, se la define tomando el criterio de proteger el cable, es decir, tomando en cuenta la corriente nominal de la salida subterránea y troncal principal.
- En el alimentador en estudio, el cable utilizado a la salida de la S/E es 3/0 de cobre, con una capacidad nominal de 300 [A], de ahí que, el ajuste de arranque o pickup de la protección 51 del relé de cabecera del alimentador se lo ajusta en 300 [A], su dial dependerá del tiempo de operación frente a fallas de los equipos de protección aguas abajo.

- La corriente de arranque de la protección de fase instantánea 50, se la define tomando en cuenta el criterio de la máxima corriente de cortocircuito en el equipo más cercano aguas abajo.
- La literatura revisada recomienda ajustar el ajuste de arranque del relé temporizado de neutro, 51N, entre el 30 % al 60 % del ajuste de la protección 51 y, el ajuste de arranque de la protección instantánea de neutro, se recomienda ajustarla igual que la corriente de arranque de la protección 50.
- Respecto a los reconectadores, el ajuste de arranque de la protección 51, se lo hace en base a la corriente máxima de carga en condiciones normales de operación multiplicando dicho valor por un porcentaje de sobrecarga, este criterio aplica para el ajuste de arranque de la curva rápida y curva lenta de fase del reconectador.
- Las curvas rápida y lenta de la protección 51N, siguen el mismo criterio definido para los relés, es decir, del 30 % al 60 % del ajuste de la protección 51.
- La cantidad de fusibles en serie, dependerá del nivel de corriente de cortocircuito, garantizando los criterios de selectividad, confiabilidad y rapidez frente a eventos de falla, usualmente 3 o 4 fusibles cumplen con estas restricciones, dependiendo del nivel de cortocircuito máximo [4].

2.5.5.3. Criterio para selección de reconectadores

El criterio para seleccionar, usar y ajustar los valores o los parámetros en los reconectadores se basan en el uso de las curvas tiempo corriente, la cantidad de operaciones y los tiempos muertos definidos para estos equipos.

Para cualquier caso de coordinación los reconectadores electrónicos se deben ajustar para que actúen con cuatro operaciones, cada una con un tiempo muerto igual a 10 segundos, los casos de coordinación a ejecutar son:

- En el caso de que no sea necesario coordinar reconectador con fusibles de línea, se ajusta el reconectador para que opere con cuatro curvas lentas

- En el caso de coordinar reconectores con fusibles, se ajusta el reconector para que opere con 2 curvas rápidas y 2 curvas lentas.
- Los reconectores lazos deben despejar cualquier falla, cuando su función de transferir carga entre en operación, por lo que se le debe ajustar una curva capaz de detectar cualquier corriente de falla.
- No se busca selectividad entre reconectores secuenciales de circuitos distintos, interconectados mediante un reconector lazo cuando hay transferencia de carga [4].

2.5.6. Coordinación de Protecciones

La coordinación de protecciones eléctricas es un arte y ciencia basada en las prácticas y filosofía de las empresas prestadoras de servicio de energía eléctrica, para lo cual el objetivo principal es poder determinar las características, rangos y valores de ajustes de los equipos de protección que se encuentran instalados, con la finalidad de minimizar daños a los equipos e interrumpir las corrientes de cortocircuito que se generan por fallas, tan rápido como sea posible.

Un sistema de protecciones eléctricas, debe ser selectivo, sensitivo y rápido, para cumplir con estos requisitos, los dispositivos de protección deben ser dimensionados y coordinados con otros, de tal manera que opere primero solo el dispositivo de protección que se encuentre más cercano a la falla, si por alguna razón este dispositivo llegara a fallar, entonces debe operar el siguiente conocido como protección de respaldo, y así sucesivamente con todos los dispositivos de protección que se encuentren instalados en el sistema.

Para tener una coordinación de protecciones adecuada, se debe partir de un diagrama unifilar del alimentador en estudio, el orden de actuación para evitar una falla debe ser el siguiente:

- Fusible de protección para derivación secundaria
- Fusible que proteja la derivación primaria
- Reconector “si es existente”

- Relé del alimentador
- Relé general.

2.5.6.1. Coordinación del Fusible y el Transformador

Los transformadores poseen dos curvas una de estas es la curva de magnetización y la otra es la curva de daño, el fusible debe estar calibrado para estas dos curvas, si el fusible se encuentra bajo la curva de magnetización, este actuará para las condiciones normales y transitorias, en corrientes de carga fría, corrientes Inrush en caso de estar sobre la corriente de daño el transformador no tendrá protección alguna.

2.5.6.2. Coordinación Fusible-Fusible

Cuando dos o más elementos fusibles u otros dispositivos de protección son aplicados a un sistema, el dispositivo más cercano F2, a la falla en el lado de suministro es el “protector” y el más cercano F1, a la alimentación es el de respaldo, como se observa en la figura 11.

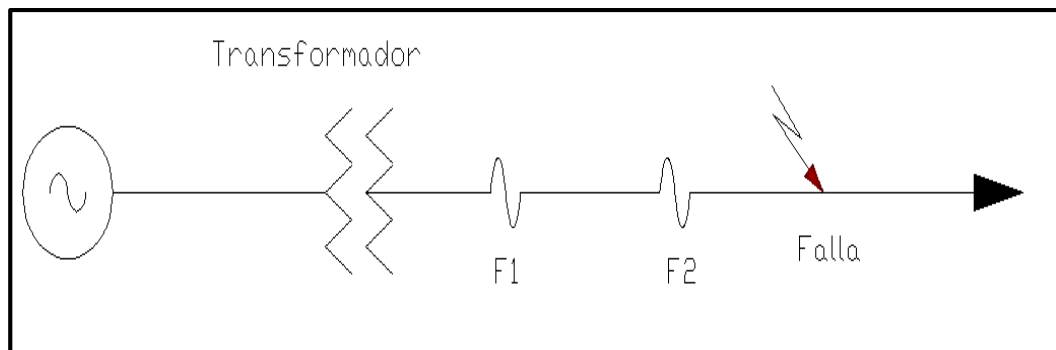


FIGURA 11. Coordinación fusible – fusible

La coordinación de fusibles se basa en la coordinación de las curvas o características de fusión de TCC propias de cada tipo de fusible, una curva tiempo-corriente muestra el tiempo requerido para que un determinado fusible se funda o aísle un circuito para el paso de distintas corrientes a través del fusible [4].

Una regla que se considera en la coordinación de fusibles es “el tiempo de aclaración del fusible que sirve de protección principal no debe ser superior al 75% del tiempo de fusión mínima del fusible de respaldo”, esto logra la coordinación apropiada y previene daño al fusible de respaldo por cambios de temperatura y condiciones de precarga [21].

A parte de la regla de coordinación deben verificarse los siguientes puntos:

- a) Debe soportar la corriente de carga en su punto de instalación.
- b) Debe coordinar con el fusible de protección de los transformadores de distribución.

El siguiente cuadro presenta un listado de fusibles protectores tipo T, al cual se quiere normalizar en este estudio, los mismos que aseguran una adecuada coordinación entre fusibles [4].

CUADRO 1. Coordinación entre fusibles ANSI/NEMA tipo T

Fusible protector	Fusible protegido													
	8T	10T	12T	14T	20T	25T	30T	40T	50T	65T	80T	100T	140T	200T
	Máxima corriente de falla con la cual B protegerá a A (amperios)													
6T		350	680	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
8T			375	800	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
10T				530	1100	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
12T					680	1280	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
15T						730	1700	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
20T							990	2100	3200	4100	5000	6100	9700	15200
25T								1400	2600	4100	5000	6100	9700	15200
30T									1500	3100	5000	6100	9700	15200
40T										1700	3800	6100	9700	15200
50T											1750	4400	9700	15200
65T												2200	9700	15200
80T													7200	15200
100T													4000	13800
140T														7500

Fuente: Catálogo LUHFSEER

2.5.6.3. Coordinación Relé-Fusible

Para la coordinación con los fusibles, se deben tener muy presentes las curvas de ajustes que posee el relé de la subestación, especialmente las curvas temporizadas e instantánea de fase y neutro, para la coordinación con las curvas temporizadas, el

objetivo es asegurar que la curva de relé sea más lenta que la curva del fusible, tal que la operación del fusible aisle la falla antes que el relé actúe con su curva. Así el circuito es protegido de una falla permanente y solo una pequeña porción del circuito quedaría sin servicio.

Para una adecuada coordinación, se debe asegurar que el máximo tiempo de aclaración del fusible (curva MCT) no exceda el tiempo de disparo del relé. Un margen de 0,2 a 0,3 segundos entre la curva MCT del fusible y la curva temporizada del relé debe darse para permitir los márgenes de error en los CT, así como errores de ajuste y tolerancias de fabricación como se muestra en la figura 12 [22].

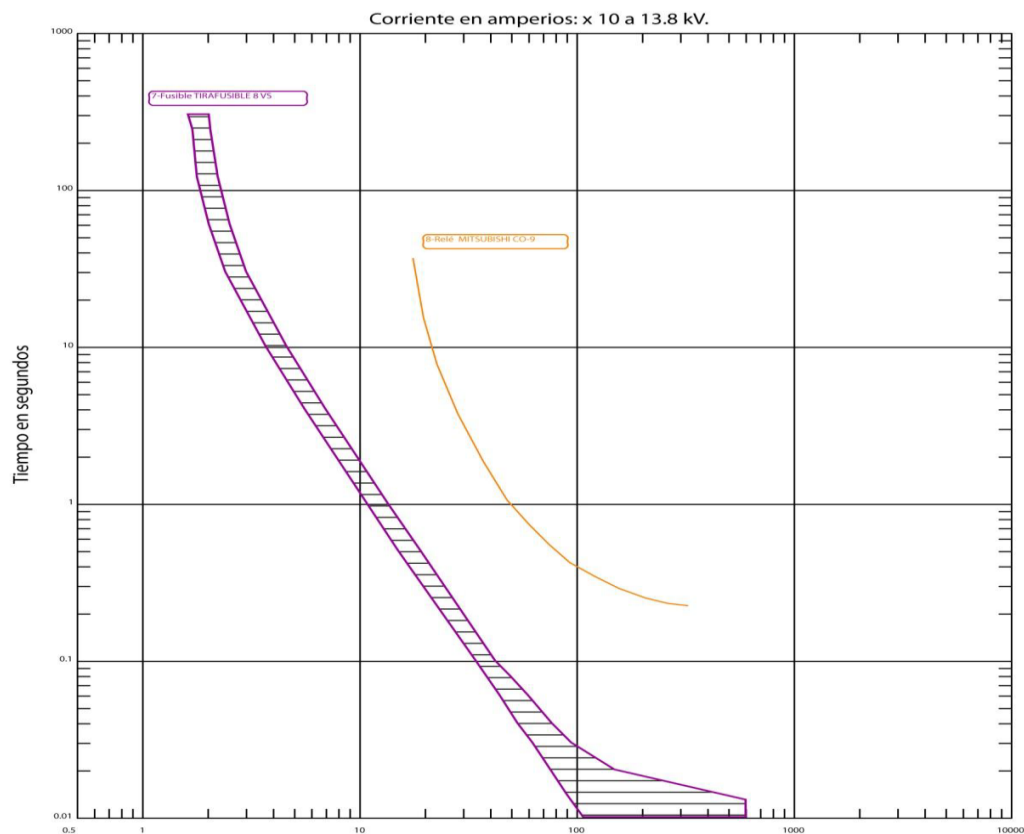


FIGURA 12. Coordinación Relé – Fusible

Fuente: ELEPCO S.A.

2.5.6.4. Coordinación Relé - Reconectador

Las fallas en el ramal protegido por el reconectador deben ser despejadas por este; para ello se fijan valores de disparo más rápidos en el reconectador, de tal forma

que actúe primero, y el interruptor de cabecera quede a la expectativa de la ejecución de los recierres o disparos en su curva rápida, de esta forma, el relé opera como protección de respaldo para fallas en el ramal protegido por el reconectador, y opera como protección principal ante fallas en el troncal principal del circuito y en aquellos ramales no protegidos por el reconectador.

Tomando en cuenta que el relé de la S/E la Maná es electromecánico, el comportamiento dinámico del disco de inducción es lento para lograr selectividad, por tal razón se debe asegurar que para fallas aguas abajo del reconectador el contacto móvil del relé no alcance su nivel de operación, aun cuando se lleve a cabo todas las secuencias de operación del reconectador [4].



FIGURA 13. Coordinación Relé – Reconectador

Fuente: Postulantes

Recopilación: Postulantes

- **Coordinación estática.** Para garantizar selectividad entre el relé y el reconectador se debe garantizar un intervalo de 0,3 segundos o mayor entre la curva más lenta del reconectador y la del relé en el nivel de cortocircuito máximo donde se instala el reconectador, los 0,3 segundos o mayor corresponderían a la suma del posible error en el relé, error en el reconectador, intervalo de seguridad y tiempo de interrupción del reconectador [4].
- **Coordinación dinámica.** Para conseguir la selectividad deseada se debe garantizar que el porcentaje de avance neto del relé durante las operaciones del reconectador sea menor al 80 %, es decir que $\% \text{ Avance neto} \leq 80\%$.

Para esto, se debe calcular el porcentaje de avance del disco de inducción durante las operaciones del reconectador y el porcentaje de retroceso del mismo durante los tiempos muertos, finalmente se resta el porcentaje de avance menos el porcentaje de retroceso como se indica a continuación [4].

2.5.6.5. Coordinación Reconectador-Fusible

Una de las estrategias más utilizadas en las empresas de distribución es la de salvar el fusible con la curva rápida de operación del reconectador, por lo tanto, para asegurar que el reconectador dispare para una falla transitoria sin dañar los fusibles, la curva de mínima fusión del fusible debe ser comparada con la curva rápida del reconectador, multiplicando la curva del reconectador por un factor multiplicador para prevenir daños en el fusible.

El factor es de 1.35 teniendo en cuenta que el reconectador tiene dos operaciones rápidas y dos lentas con intervalos de recierre de 2.0 s, el siguiente paso es revisar la coordinación para fallas permanentes, comparando las curvas de máximo tiempo de aclaración del fusible con la curva lenta del reconectador.

La opción del fusible puede ser seleccionar el tamaño del fusible para cada ramal, basados en la corriente de carga, sin embargo, este método haría necesario que las cuadrillas de daños llevaran diferentes tamaños de fusibles y tomar las precauciones para instalar el tamaño apropiado para el sitio, el uso de fusibles más pequeños implica pérdida de coordinación, fatiga de los fusibles y operación innecesaria de estos ante las fallas.

Una elección más simple sería seleccionar un tamaño único para todos los sitios, considerando lo siguiente:

El tiempo mínimo de fusión del fusible debe ser mayor que el tiempo de apertura del reconectador en su curva de actuación rápida, multiplicado o afectado por un factor de 1,35 [4].

$$t_{\text{mín fusión fusible}} \geq 1.35 * t_{\text{apertura rápida reconect}}$$

El tiempo máximo de fusión del fusible debe ser menor que el tiempo mínimo de apertura en la curva temporizada del reconectador.

$$t_{\text{máx fusión fusible}} \leq 1.35 * t_{\text{apertura temporizada reconect}}$$

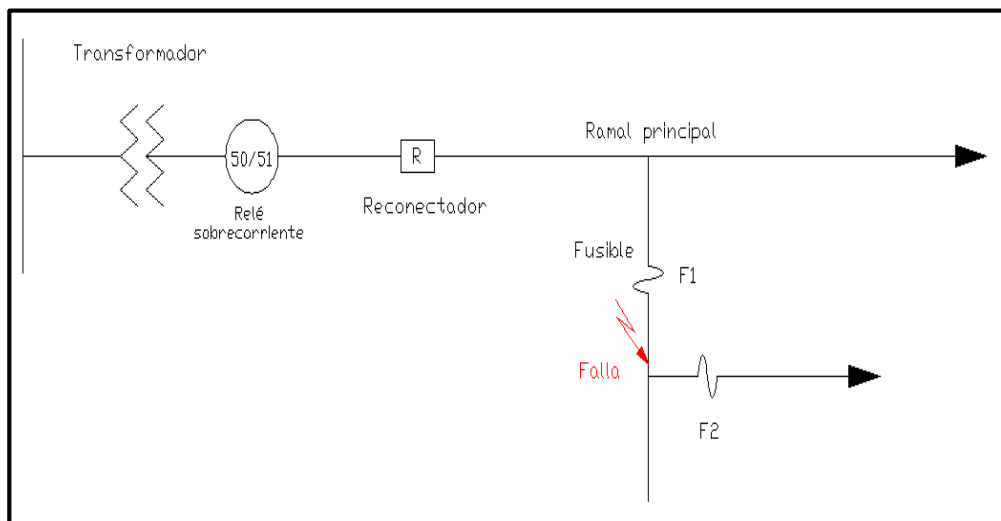


FIGURA 14. Coordinación Reconectador - Fusible

Fuente: Postulantes
Recopilación: Postulantes

2.5.7. Condición Actual del Sistema de Protección del Alimentador No. 3 de la S/E La Maná

Para proceder con el estudio de coordinación de protecciones del alimentador No 3 de la S/E La Maná, es preciso disponer de la información completa del mismo, con la finalidad de obtener de esta investigación resultados que permitan proporcionar un servicio eléctrico de calidad al usuario final, como también, de evitar que la ELEPCO S.A tenga sanciones ante el ente regulador.

En base a la información de datos técnicos proporcionados por funcionarios de la ELEPCO S.A, como también por el recorrido realizado en todo el alimentador de

estudio, se recopiló la mayor cantidad de información de todos y cada uno de los elementos de protección que lo conforman.

Gracias a la apertura de la Jefatura de ELEPCO S.A, en la ciudad de La Maná, se logró identificar en ciertos puntos el tipo de fusibles, reconectador, relés de la S/E tipo y calibre de conductor, instalados a lo largo del alimentador, con lo cual se verifico que sus instalaciones actuales tiene instalado diferentes tipos de fusibles como los de tipo K, T, H, y otros, un reconectador situado aproximadamente a unos 5 km de la S/E, de características como se indica en el temario **anexos**, conductores de diferentes calibres tipo ACSR y relés electromecánicos en la S/E.

Es importante también indicar que, por ser una zona situada en el subtrópico de la provincia de Cotopaxi, la alta incidencia de la vegetación, nivel de humedad y descargas atmosféricas que son bastante frecuentes en la zona, estos factores y los elementos de protección no adecuados hacen que el servicio eléctrico no sea de buena calidad, y a la vez determinan el reporte de fallas en los alimentadores.

Los relés de la S/E, son relés electromecánicos con la siguiente información:

- El ajuste de la corriente de arranque de la protección temporizada de fase, 51, se la define tomando el criterio de proteger el cable, es decir, tomando en cuenta la corriente nominal de la salida subterránea y troncal principal.
- En el alimentador en estudio, el cable utilizado a la salida de la S/E es 3/0 de cobre, con una capacidad nominal de 300 [A], de ahí que, el ajuste de arranque o pickup de la protección 51 del relé de cabecera del alimentador se lo ajusta en 300 [A], su dial dependerá del tiempo de operación frente a fallas de los equipos de protección aguas abajo.
- La corriente de arranque de la protección de fase instantánea, 50, se la define tomando en cuenta el criterio de la máxima corriente de cortocircuito en el equipo más cercano aguas abajo.
- La literatura revisada recomienda ajustar el ajuste de arranque del relé temporizado de neutro, 51N, entre el 30 % al 60 % del ajuste de la

protección 51 y, el ajuste de arranque de la protección instantánea de neutro, se recomienda ajustarla igual que la corriente de arranque de la protección 50.

- Respecto a los reconectores, el ajuste de arranque de la protección 51, se lo hace en base a la corriente máxima de carga en condiciones normales de operación multiplicando dicho valor por un porcentaje de sobrecarga, este criterio aplica para el ajuste de arranque de la curva rápida y curva lenta de fase del reconector.
- Las curvas rápida y lenta de la protección 51N, siguen el mismo criterio definido para los relés, es decir, del 30 % al 60 % del ajuste de la protección 51.
- La cantidad de fusibles en serie, dependerá del nivel de corriente de cortocircuito, garantizando los criterios de selectividad, confiabilidad y rapidez frente a eventos de falla, usualmente 3 o 4 fusibles cumplen con estas restricciones, dependiendo del nivel de cortocircuito máximo.

Para analizar la condición actual del sistema de protecciones, se tomó en cuenta el ramal trifásico principal en donde está instalado el reconector y el ramal monofásico más cercano al reconector aguas abajo, tal como se muestra en la Figura 15.

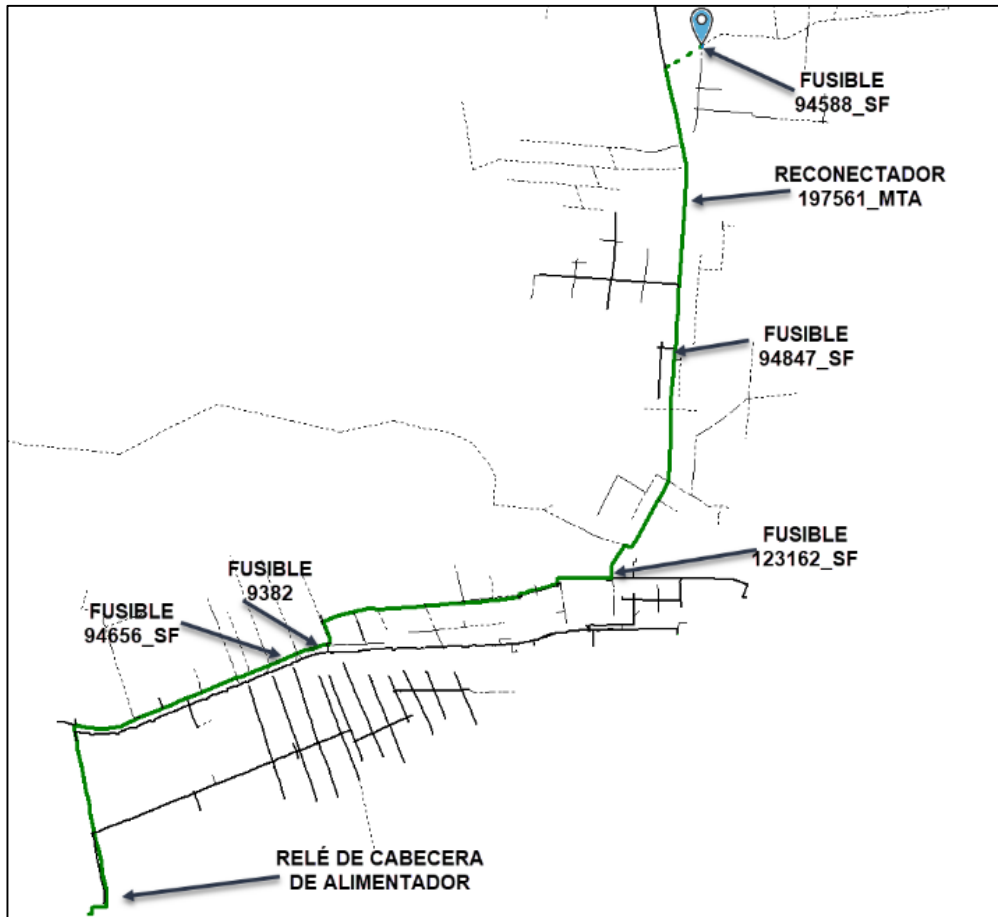


Figura 15. Ubicación de equipos de protección en la troncal principal y ramal más cercano

En la figura 16 se aprecian las curvas de coordinación de los fusibles, reconector y relé de cabecera del alimentador, determinando lo siguiente:

- Para una falla aguas abajo del fusible 94588_SF, ya sea entre fases o a tierra, la curva rápida del reconector de fase y neutro operan como protección principal, de ahí que se cumple el criterio de salvar el fusible aguas abajo del reconector.
- Una falla transitoria entre el fusible 94588_SF y el reconector 197561_MTA, el reconector operará con su curva rápida ya sea de fase o neutro, conservando el criterio de selectividad, rapidez y confiabilidad. Sin embargo, si la falla fuese permanente con una corriente mayor a 55 [A], el equipo que despeje la falla será el fusible 94847_SF, es decir, el esquema de protecciones para este tipo de falla ya no cumple los criterios mencionados, por lo tanto, el esquema de protecciones no está coordinado.

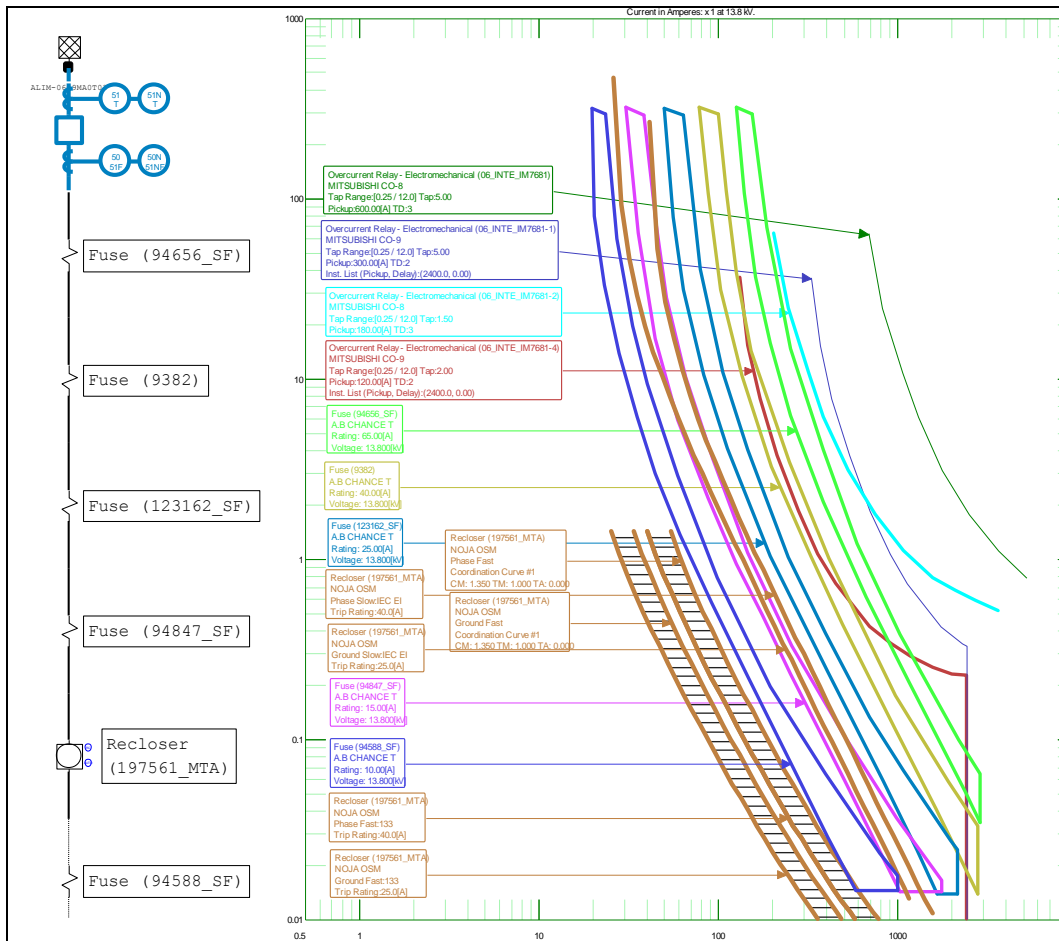
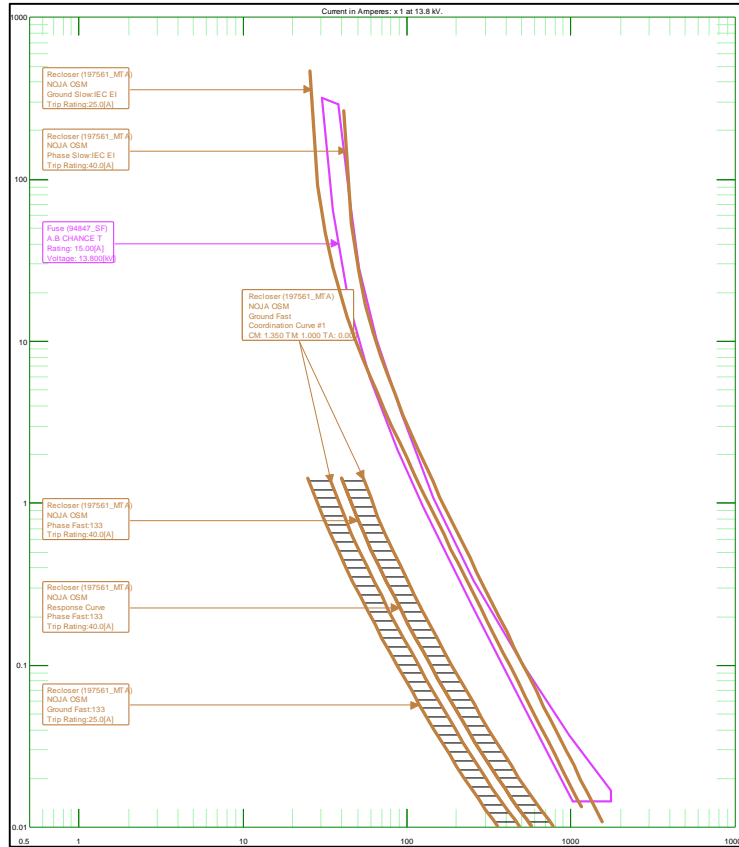
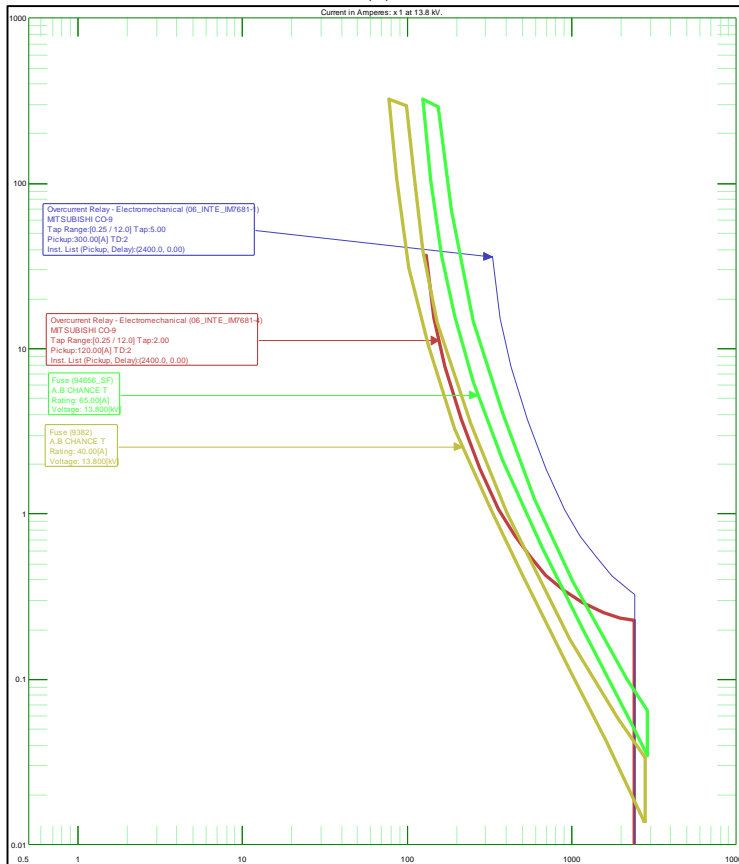


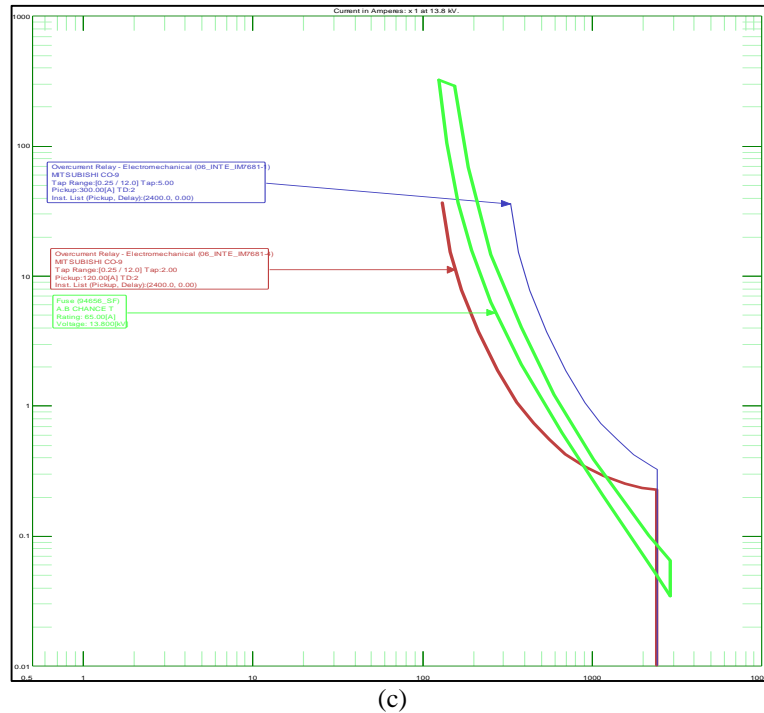
Figura 16. Condición Actual del Esquema de Protecciones del Alimentador No. 3



(a)



(b)



(c)
Figura 17. (a) Falla permanente aguas abajo del reconectador 197561_MTA, (b) Falla monofásica aguas abajo del fusible 9382 y, (c) Falla monofásica aguas abajo del fusible 94656_SF

En la figura 17 (a) se aprecia el cruce de las curvas lentas de fase y neutro del reconectador 197561_MTA con el fusible 94847_SF, lo que provocaría pérdida de selectividad en caso de que la falla sea permanente aguas abajo del reconectador.

De presentarse una falla entre los fusibles 94847_SF y 123162_SF, el esquema de protecciones actúa adecuadamente, operando como protección principal el fusible 123162_SF, sin embargo, de operar la protección de respaldo, es decir, el fusible aguas arriba 9382, por pérdida de selectividad podría operar la protección 51N del relé de cabecera del alimentador.

Una falla entre fases que no involucren tierra entre los fusibles 123162_SF y 9382, operarán manteniendo los criterios de coordinación de protecciones, sin embargo, para una falla que involucre tierra, monofásica o bifásica a tierra, existe la posibilidad que el relé de cabecera del alimentador opere antes que la falla sea despejada por el fusible de respaldo 9382, por lo tanto, no se garantiza una operación adecuada en este tramo analizado.

En la figura 17 (b) se observa el comportamiento del fusible y el relé de cabecera frente a una falla monofásica a tierra de magnitud entre 140 [A] y 525 [A], se pierde selectividad en el sistema de protecciones.

Finalmente, se puede mencionar que frente a fallas monofásicas a tierra en el tramo de red que queda entre los fusibles 9382 y 94656_SF, entre 120 [A] y 1200 [A], no opera coordinadamente el esquema de protecciones, en la figura 17 (c) se observa con mayor claridad este escenario.

Acorde al análisis desarrollado, el esquema de protecciones del alimentador de estudio no está operando coordinadamente, por lo cual, es pertinente y necesario corregir este esquema de protecciones de tal manera que, frente a cualquier falla, el sistema actúe de manera selectiva, confiable y rápida.

2.6.Arquitectura, diseños, planos detallados de la propuesta

De acuerdo a la topología actual del alimentador de distribución No. 03 de la S/E La Maná, se realizará el correspondiente estudio de coordinación de protecciones propuesto, por lo cual se han considerado las condiciones actuales del mismo. En la base CYMDIST modelada del sistema de distribución de la ELEPCO S.A, se puede verificar la topología, elementos de corte-seccionamiento y protección del alimentador en análisis, misma que es descrita por la figura 18.



Figura 18. Topología del alimentador No. 03 S/E La Maná_ELEPCO

2.7.Requerimientos de hardware y software

Para la presente propuesta, se utilizará el software CYMDIST, el cual es un paquete base para el análisis del sistema de distribución del software CYME, agrupa todas las herramientas de modelado y análisis necesarias para realizar los diversos tipos de simulaciones involucradas en la planificación del sistema de distribución eléctrica, este cálculo admiten modelos de distribución balanceados o desbalanceados que se construyen con cualquier combinación de fases y funcionan en configuraciones de tipo radial, anillado o mallado.

El paquete base CYMDIST es una herramienta integral que proporciona a los ingenieros de distribución las aplicaciones clave para realizar estudios de planificación del sistema, simulaciones y análisis a diario, el software CYME comprende varios módulos complementarios para el modelado y simulaciones detalladas que llevan al análisis de cualquier sistema de energía a un nivel completamente nuevo.

Los módulos de análisis avanzado de CYME ayudan a los ingenieros a realizar estudios de planificación de la capacidad de distribución en todo el sistema, este poderoso módulo abarca diferentes simulaciones para ayudar a seleccionar de manera correcta los dispositivos de protección de sobrecorriente y ajustar adecuadamente su configuración de manera que se minimice el impacto causado por cualquier cortocircuito o falla del equipo, el módulo puede ayudar a diseñar y verificar su esquema de protección y abordar varios problemas de coordinación en la red [19].

2.8. Costo de Implementación

En las condiciones actuales del alimentador en estudio, como investigadores del tema proponemos a la ELEPCO S.A., realicen el cambio lo más pronto posible de los fusibles que no permiten la adecuada coordinación, a través de la estandarización con fusibles tipo T para protección de la línea principal y sus

derivaciones, para protección de transformadores convencionales con los fusible tipo SR, en cuanto al reconector se mantendrá el mismo, puesto que es un equipo de última tecnología y su instalación es bastante temprana, con respecto a los relés de la S/E, puesto que son electromecánicos, se recomienda cambiarlos por digitales para tener mayor selectividad en su respuesta al ocurrir una falla.

En este sentido, se realizó la correspondiente cotización, basada en la actualización de la licencia actualización del software CYMDIST con la empresa representante en el Ecuador, y con los distribuidores de cada elemento eléctrico descrito en el párrafo anterior. se resume en la siguiente tabla:

Tabla 2 Costo de actualización del software SYMDIST y sustitución de fusibles

ITEM	DETALLES	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	CYMDIST	1	1.150,00	1.150,00
2	CYME/MAP	1	258,75	258,75
3	Tirafusibles tipo 65T	3	5,60	16,80
4	Tirafusibles tipo 50T	6	5,00	30,00
5	Tirafusibles tipo 40T	6	5,00	30,00
6	Tirafusibles tipo 25T	12	4,60	55,20
7	Tirafusibles tipo 12T	8	4,60	36,80
8	Tirafusibles tipo 8T	12	4,60	55,20
9	Tirafusible tipo SR de 0,6 Amp	25	4,70	117,50
10	Tirafusible tipo SR de 1.3 Amp	48	4,70	225,60
11	Tirafusible tipo SR de 3,1 Amp	87	5,10	443,70
12	Tirafusible tipo SR de 5,2 Amp	60	5,10	306,00
13	Tirafusible tipo SR de 7,5 Amp	38	7,80	296,40
11	Relé de sobre corriente digitales	1	9.000,00	9000,00
12	Mano de Obra	1	750,00	750,00
Costo Total sin Relé digital			TOTAL	3.771,55
Costo Total con Relé digital			TOTAL	12.771,55

los costos descritos en la Tabla 2, detallan los valores de actualización de las licencias del paquete computacional para un período de 1 año, y la compra de los fusibles tipo T y SR, y en el caso de cambio del relé de sobre corriente digital que es opcional. Estos valores comparados con las interrupciones de servicio durante un año, justifica la inversión a realizar.

2.9. Conclusiones Capítulo II

Disponer de una base de datos actualizada, modelada lo más próximo a la realidad, garantiza que las acciones tomadas en base a los resultados obtenidos de un estudio, sean lo más acertados en pro de mejorar el desempeño de una red de distribución.

Disponer de un programa computacional para el desarrollo de estudios eléctricos en alimentadores primarios, actualmente es de mucha ayuda puesto que, el manejo de una gran cantidad de datos y modelos de red se los realiza de manera más ordenada y confiable.

La condición actual del alimentador El Carmen respecto a los equipos de protección, no garantiza una operación selectiva, rápida y confiable frente a eventos de cortocircuito, por lo cual, una falla puede dejar sin servicio de energía eléctrica a un mayor número de usuarios.

CAPÍTULO III. APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

3. Condición Futura del Sistema de Protección del Alimentador No. 3 de la S/E La Maná

Una vez que se identificó los problemas de coordinación de protecciones en el alimentador citado, se aplica la metodología propuesta y se realizan los cambios en los fusibles y ajustes de protección del relé de cabecera y reconectador con el objetivo de implementar un esquema de protecciones que garantice una operación selectiva, confiable y rápida frente a eventos de cortocircuitos, para lo cual, se aplican los criterios de coordinación de protecciones definidos en párrafos anteriores.

Es importante aclarar que, el dimensionamiento de fusibles que se determinó en el estudio de flujo de carga, puede variar dependiendo de la cantidad de curvas de protección de todo el sistema. Para lo cual, se procede acorde a lo establecido en párrafos anteriores.

En la tabla 3 se muestra los niveles de corriente de cortocircuito máximo y mínimo que pueden censar cada fusible, parámetro necesario para determinar el número total de equipos de protección en la trocal dependiendo del tiempo de operación de cada equipo de protección.

Tabla 3 Corrientes de cortocircuito en el nodo más cercano a cada fusible

FUSIBLE No.	I _{cc max} (A)	I _{cc min} (A)
94588_SF	994.31	920.81
197561_MTA	1545.98	635.45
94847_SF	1752.77	1186.03
123162_SF	2143.86	1187.61
9382	2779.25	1480.68
94656_SF	2871.05	2264.59

Una vez que se determinó la capacidad de los fusibles considerando el flujo de carga y las corrientes de cortocircuito, se procede a revisar si el esquema cumple con los criterios de coordinación de protecciones.

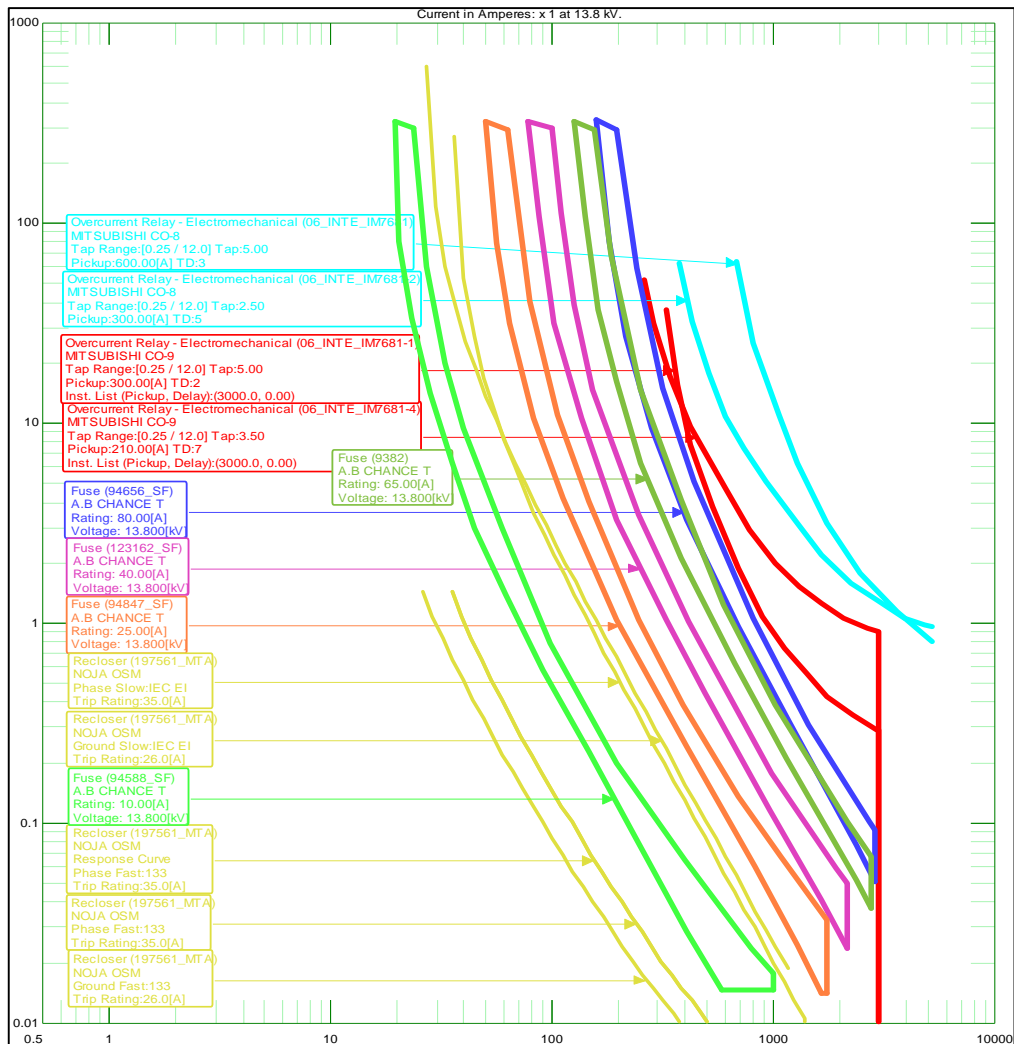


Figura 19. Ajuste preliminar de protecciones considerando 4 fusibles más 1 reconectador en la troncal principal

En la figura 19 se aprecia que, debido a los niveles de corriente de cortocircuito, al tener un total de 4 fusibles más 1 reconectador en el troncal principal, no se tiene selectividad en la operación frente a fallas aguas abajo del fusible 9382, puesto que, existe la posibilidad de que el fusible aguas arriba, 94656_SF, también opere.

Una característica particular de estos dos fusibles es que, están instalados a 117 metros de distancia; la corriente de flujo de carga que circula por estos elementos es mostrada en la tabla 4.

Tabla 4 Corrientes de carga que circulan por los fusibles 94656_SF y 9382

FUSIBLE No.	IA (A)	IB (A)	IC (A)
94656_SF	94	77.5	75.1
9382	80.9	77.4	74.3

De ahí que, se puede tomar la decisión de eliminar uno de los dos fusibles de tal manera que el esquema de protecciones opere considerando los criterios de coordinación. En este estudio se analizarán las dos alternativas para determinar cuál es el mejor escenario.

ALTERNATIVA No.1, ELIMINAR DEL FUSIBLE No. 94656_SF

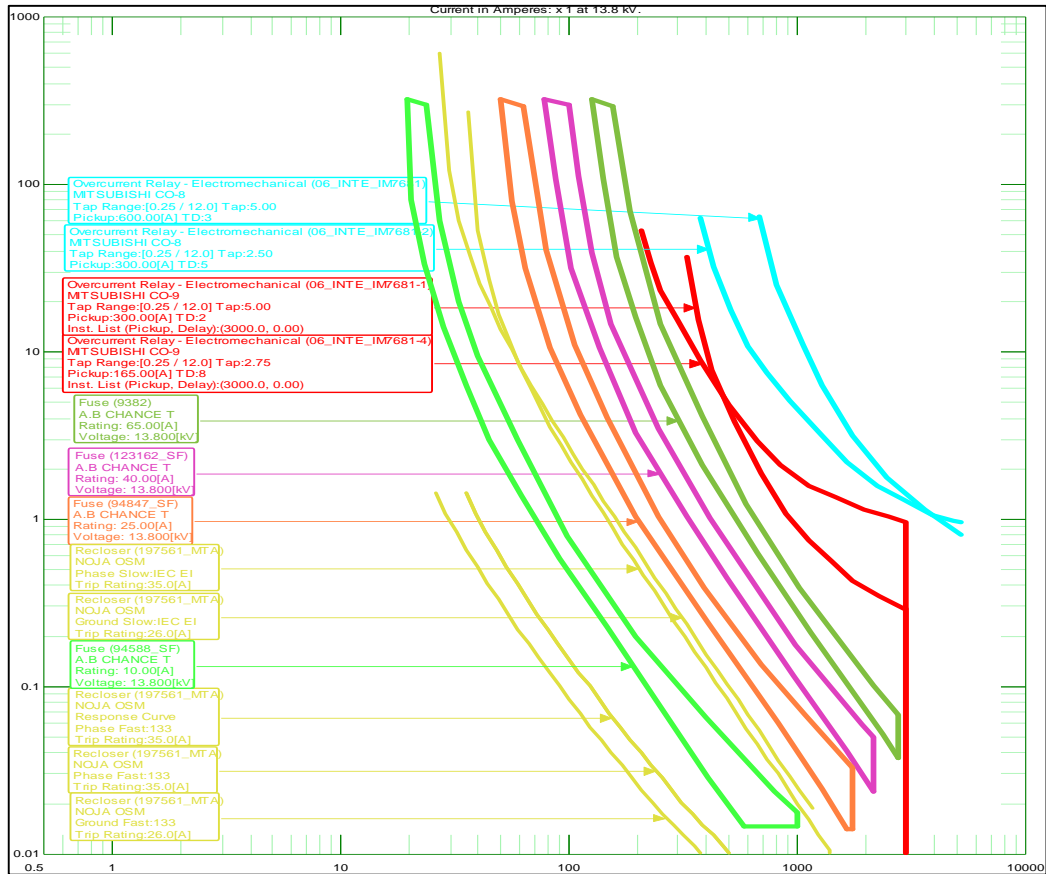


Figura 20. Curvas de coordinación de protecciones considerando la alternativo 1, eliminar el fusible No. 94656_SF

Acorde a lo que se mencionó, una de las alternativas es la de eliminar el fusible No. 94656_SF de tal manera que el esquema de protecciones opere de manera selectiva, confiable y rápida. Las curvas de protección tomando en cuenta esta alternativa se aprecian en la figura 20, se observa que el esquema de protecciones opera cumpliendo los criterios de coordinación mencionados.

Otra característica de esta propuesta es que, debido a que el fusible 9382 seleccionado es un 65T, el ajuste de arranque de la protección 51N del relé de cabecera del alimentador se puede ajustar en 165 [A], incrementando la sensibilidad de esta función de protección frente a fallas a tierra como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5 Ajustes actuales y propuestos de la función de protección 51N del relé de cabecera del alimentador No. 3 de la S/E La Maná, Alternativa No. 1

RELÉ	AJUSTES ACTUALES 51N	AJUSTES PROPUESTOS 51N	AJUSTES 51
Marca	Mitsubishi	Mitsubishi	Mitsubishi
Curva	CO-9	CO-9	CO-9
Tap	2 [A] sec 120 [A] pri.	2.75 [A] sec 165 [A] pri.	5 [A] sec 300 [A] pri.
Dial	2	8	2

ALTERNATIVA No.2, ELIMINAR DEL FUSIBLE No. 9382

La segunda alternativa analizada es la de eliminar el fusible No. 9382, de tal manera que los fusibles operen adecuadamente frente a eventos de cortocircuito, para lo cual, en la figura 21 se muestra las curvas de los fusibles y reconectador en este escenario.

Cabe mencionar que el fusible 94656_SF se selecciona para soportar la carga que circula en condiciones normales de operación, de ahí que, un 80T se adapta adecuadamente a este requerimiento, para lo cual, el ajuste de arranque de la protección de neutro 51N del relé de cabecera del alimentador, se ajusta en 210 [A]. Esta alternativa reduce la sensibilidad de la protección 51N del relé de cabecera del alimentador, sin embargo, es una alternativa válida que puede ser considerada para la implementación en campo, cabe mencionar que, si se quiere conservar la sensibilidad frente a fallas a tierra con la protección 51N del relé de cabecera de alimentador, una solución sería balancear las fases, puesto que, la corriente de carga que circula por la fase “A”, se reduzca al menos 10 [A].

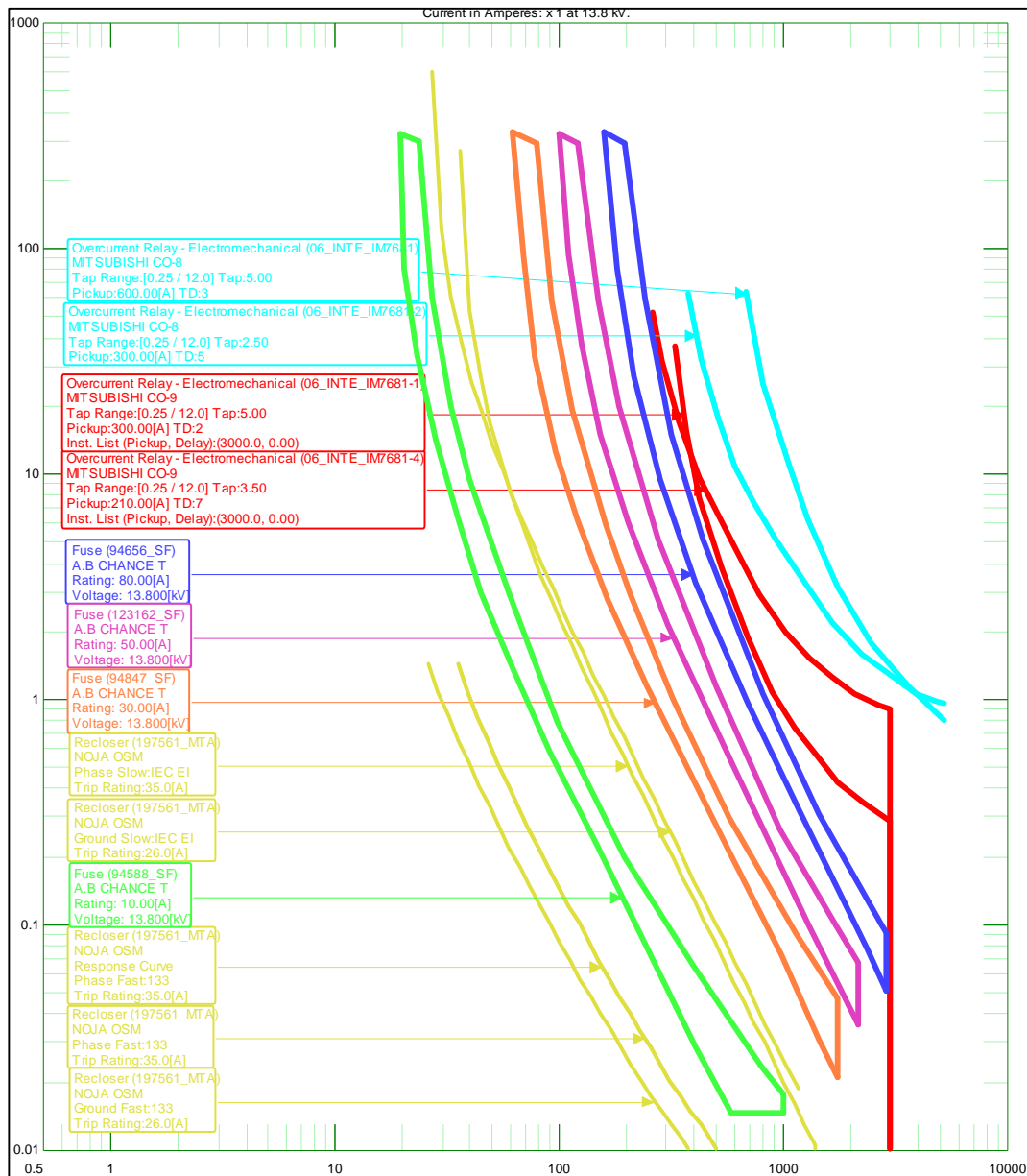


Figura 21. Curvas de coordinación de protecciones considerando la alternativa 2, eliminar el fusible No. 9382

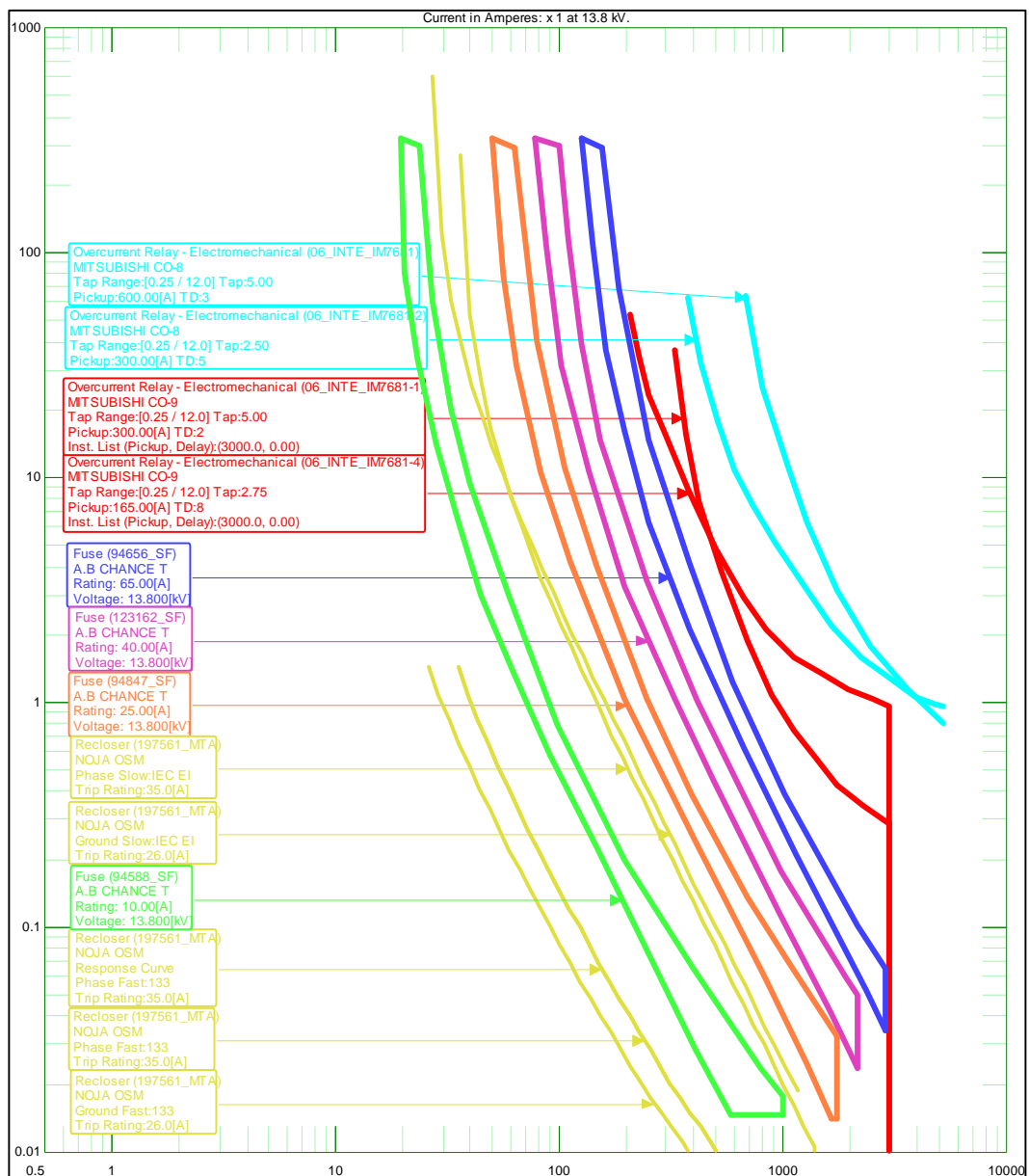


Figura 22. Curvas de coordinación de protecciones considerando la alternativa 2, eliminar el fusible No. 9382, manteniendo la selectividad en la protección 51N del relé de cabecera de alimentador

Tabla 6. Ajustes actuales y propuestos de la función de protección 51N del relé de cabecera del alimentador No. 3 de, Alternativa No. 2

RELÉ	AJUSTES ACTUALES 51N	AJUSTES PROPUESTOS 51N	AJUSTES 51
Marca	Mitsubishi	Mitsubishi	Mitsubishi
Curva	CO-9	CO-9	CO-9
Tap	2 [A] sec 120 [A] pri.	3.5 [A] sec 210 [A] pri.	5 [A] sec 300 [A] pri.
Dial	2	7	2

La opción mencionada es mostrada en la figura 21, el ajuste de arranque de la protección 51N se define en 165 [A] acorde a la alternativa No. 1, pero, para que esta solución sea viable, se debe balancear las cargas, acorde a lo mencionado en el párrafo anterior.

Los ajustes de la función 51N del relé de protección de cabecera del alimentador, se muestran en la tabla 6.

3.1. Análisis de los resultados

DIMENSIONAMIENTO DE LOS FUSIBLES A INSTALARSE EN EL ARRANQUE DE LAS DERIVACIONES DE LA TRONCAL PRINCIPAL

En cualquiera de los escenarios descritos anteriormente, definir la capacidad de los fusibles que irán en el arranque de los ramales, aguas abajo de cada fusible de la troncal principal analizada, puede ser una tarea complicada, sin embargo, acorde a la bibliografía consultada, se define el siguiente criterio como regla general:

- La capacidad máxima de los fusibles a ser instalados en los arranques de los ramales del alimentador, debe ser menor a la capacidad del primer fusible de respaldo, aguas arriba en la troncal principal. Para garantizar que no se pierda selectividad, sensibilidad, confiabilidad y rapidez en la operación frente a fallas, se debe graficar las curvas de los fusibles de tal manera que se verifique que no existe puntos en donde se pierde selectividad.

En base a este criterio, para garantizar que el reconectador opere considerando la estrategia de salvar el fusible frente a fallas aguas abajo del mismo, el rango de fusibles permitidos varía desde el tipo 8T a hasta un máximo de tipo 12T. De instalarse un fusible menor al rango establecido, una falla en un ramal será despejado por el fusible, más no por el reconectador, de lo contrario, si en un ramal se instala un fusible mayor a 12T, el reconectador será quien opere tanto con sus curvas de fase y neutro, rápidas y lentas, en un evento de cortocircuito aguas abajo del fusible del ramal.

La función de protección instantánea, tanto de fase como de neutro en cabecera del alimentador, está ajustada para la corriente de cortocircuito máxima, es decir, para la corriente de cortocircuito en barra de 13.8 kV de la subestación, trifásica y monofásica, respectivamente, sin embargo, este criterio de ajuste puede ocasionar la pérdida de selectividad en la operación frente a fallas aguas abajo de los equipos de reconexión y fusibles, puesto que, el equivalente de red considerado para el cálculo, varía diariamente con el ingreso y salida de generadores existentes y proyectos nuevos de generación, afectando directamente a la corriente de cortocircuito, por lo que, a futuro, la magnitud de falla aguas abajo de un reconectador o fusible puede llegar a ser igual o mayor al ajuste de la protección instantánea.

Este escenario ocasiona pérdida de selectividad en el sistema de protecciones, de ahí que la tendencia en las empresas de distribución es desactivar la función instantánea, tanto de fase como de neutro, logrando mantener selectividad en su sistema de protecciones, aun cuando el sistema de generación en el sistema de transmisión haya incrementado considerablemente.

Otro factor importante identificado en el desarrollo de este trabajo de titulación, es que, los relés electromecánicos en la subestación La Maná, ya cumplieron con su ciclo de vida, sin mencionar que, este tipo de relés necesitan periódicamente calibración en sus contactos y piezas móviles, de lo contrario, el sistema de protecciones puede operar de manera no coordinada, no obstante, los ajustes definidos garantizan una operación adecuada del sistema de protecciones frente a eventos de cortocircuito en el alimentador de distribución.

3.2. Validación técnica -económica de los resultados

En base a los resultados obtenidos de esta investigación, debido a la falta de coordinación del alimentador en estudio, conlleva a que la ELEPCO S.A., presente pérdidas económicas por la interrupción del servicio eléctrico, para lo cual sugerimos la actualización de coordinación de protecciones propuesta en el presente

estudio, con la finalidad de mejorar el servicio de energía eléctrica al usuario final y de recuperar las pérdidas económicas a corto plazo.

A más de lo propuesto en el trabajo de titulación, y en vista de que la demanda sigue creciendo y la red sigue extendiéndose se ve a futuro que será necesario implementar la instalación de un reconectador trifásico y un monofásico más aguas abajo, por otra parte, también realizar una remodelación de la red principal con el calibre de conductor adecuado en los tramos respectivos.

Bajo estas consideraciones y de acuerdo a las condiciones actuales del alimentador, presentamos un análisis del costo de implementación sugerido para mejorar el servicio eléctrico en el lugar.

Tabla 7 Costo de actualización de software CYMDIST, e implementación de equipos de última tecnología

ITEM	DETALLES	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	CYMDIST	1	1.150,00	1.150,00
2	CYME/MAP	1	258,75	258,75
3	Tirafusibles tipo 65T	3	5,60	16,80
4	Tirafusibles tipo 50T	6	5,00	30,00
5	Tirafusibles tipo 40T	6	5,00	30,00
6	Tirafusibles tipo 25T	12	4,60	55,20
7	Tirafusibles tipo 12T	8	4,60	36,80
8	Tirafusibles tipo 8T	12	4,60	55,20
9	Tirafusible tipo SR de 0,6 Amp	25	4,70	117,50
10	Tirafusible tipo SR de 1,3 Amp	48	4,70	225,60
11	Tirafusible tipo SR de 3,1 Amp	87	5,10	443,70
12	Tirafusible tipo SR de 5,2 Amp	60	5,10	306,00
13	Tirafusible tipo SR de 7,5 Amp	38	7,80	296,40
14	Relé de sobre corriente digitales	1	9.000	9.000,00
15	Reconectador trifásico	1	18.500,00	18.000,00
16	Reconectador monofásico	1	11.200,00	11.200,00
17	Mano de Obra		1.800,00	2.100,00
			TOTAL	34.321,55

3.3. Evaluación de expertos

En este punto hemos considerado disponer de dos expertos en coordinación de protecciones, una que considere la viabilidad del tema y la otra un aval del desarrollo del mismo, bajo los siguientes parámetros; como se elaboró el tema, su aplicación y que problemas resolvió:

Viabilidad del tema. - Como experto en el tema se contó con la intervención del MSc. Antonio de Jesús Ortiz, quien trabaja en el departamento de Sub estaciones de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte, el mismo que durante una entrevista escrita, manifestó lo siguiente:

¿A partir de qué datos técnicos realiza el estudio de coordinación de protecciones de los alimentadores primarios de la EEASA?

¿Qué criterios técnicos de los equipos a utilizar, aplica para su adquisición?

¿Con qué software realiza el análisis de resultados, para verificar las condiciones del sistema a instalar?

¿Considera que el empleo del software a utilizar para el análisis de coordinación de protecciones es viable y único?

¿Recomendaría a las empresas eléctricas distribuidoras el empleo de esta herramienta computacional?

De la entrevista realizada se obtuvo la siguiente información basada en criterios profesionales y de gran experticia en el tema, la cual fue de gran ayuda para la ejecución de la presente investigación:

Los datos o variables técnicas que se emplea para el estudio de coordinación de protecciones eléctricas en la mayor parte de los alimentadores primarios principales, potencia activa, potencia reactiva, con las cuales se determina el flujo de carga, corriente de cortocircuito y la configuración de la red, estos datos se obtienen de la medición en la subestación que, como mínimo, proporcionará la demanda total máxima de kW o kVA diversificada trifásica y/o la corriente máxima por fase de un intervalo de tiempo determinado.

Para tener una coordinación adecuada de protecciones eléctricas en los alimentadores primarios o llamados troncales de distribución, se debe tener en cuenta criterios técnicos tales como: Selectividad, sensibilidad, rapidez y confiabilidad.

El software que se utiliza en el análisis del tema en cuestión en la EEASA, es el CYMDIST, esta herramienta computacional, al igual que todo sistema tiene sus desventajas, pero es bastante confiable porque proporciona resultados apegado a la realidad, con un pequeñísimo margen de error que son corregidos en base a la experiencia profesional, para lo cual personalmente recomiendo que los interesados prosigan con su estudio de investigación.

Como profesional a fin a este tema, recomiendo a los interesados emplear el programa CYMDIST, para que realicen un análisis del comportamiento actual del alimentador, y en base a sus resultados sugerir a la ELEPCO S.A, reconfigurar o no los equipos instalados en la actualidad.

Uno de los principales objetivos del presente estudio, es también cumplir con los parámetros que exige el ente regulador ARCONEL, en el caso de no obtener los índices establecidos se puede estar inmerso en sanciones y multas, por lo tanto, al realizar el estudio del alimentador No 3 de la S/E la Maná, con lleva a mejorar los índices de calidad de servicio eléctrico.

Atentamente.



Firmado electrónicamente por:
**ANTONIO DE
JESUS ORTIZ
LOPEZ**

MSc. Antonio de Jesús Ortiz
Profesional del Departamento de S/E de EEASA.

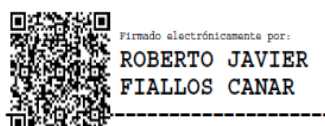
Aval del desarrollo. - El presente estudio, denominado coordinación de protecciones del alimentador No 3 de la S/E La Maná, es necesario e importante ejecutarlo, puesto que con los resultados que han obtenido los participantes en el desarrollo de este tema de manera personal y como especialista, certifico que se realice el análisis total de la coordinación de protecciones en todo el alimentador, sabiendo que en esta zona el crecimiento poblacional como el cambio en la configuración del alimentador, es dinámico, para lo cual, la ELEPCO S.A, debe tomar decisiones de cambio en base a las sugerencias enmarcadas con criterios profesionales y amparados por normas técnicas.

Puesto que, en las empresas eléctricas de distribución a nivel nacional, sus infraestructuras son similares, este modelo de investigación servirá como referencia para que puedan analizar el comportamiento de sus alimentadores primarios frente a fallas que se produzcan en los mismos, como también en el cambio de su configuración por el crecimiento poblacional.

La aplicación de esta investigación, permite minimizar los tiempos de restablecimiento del servicio eléctrico, evitar la intervención de cuadrillas de trabajo, evitar sanciones administrativas y penalizaciones económicas a las empresas distribuidoras, disminuir los reclamos de atención al cliente.

En lo personal es digno felicitarles a los integrantes de esta investigación y la Institución que les forma, por inclinar al mejoramiento de la calidad de servicio eléctrico en el país, a la vez apruebo el aval respectivo por la elaboración del presente trabajo de titulación, labor que sirve como contribución al desarrollo del sector eléctrico.

Atentamente.



MSc. Roberto Fiallos Cañar
Profesor Externo de la UTC.

3.4. Evaluación de usuarios (si aplica)

El desarrollo de los sistemas eléctricos de distribución en base a las nuevas tecnologías, ahora exige que los ingenieros realicen desde análisis de planificación hasta simulaciones especializadas que respalden las operaciones, lo cual incluye estudios de protección, análisis de cortocircuitos, flujos de carga entre otros.

El software CYMDIST es una herramienta enfocada y poderosa que se utiliza para modelar todo el sistema de distribución y abordar las necesidades de la simulación en cuanto a los análisis de capacidad, contingencia, calidad de energía y optimización, así también, ayuda a mejorar la confiabilidad de los mismos mediante estudios de cortocircuitos y su configuración de los sistemas de protecciones de las redes de medio voltaje.

El paquete CYMDIST comprende los siguientes análisis:

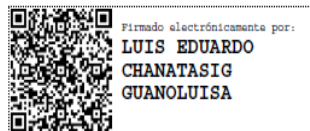
- Flujo de carga desbalanceado
- Distribución y estimación de carga
- **Análisis de fallas**
 - Flujo de falla/cortocircuito
 - Localizador de fallas
 - Falla serie y falla simultánea
 - Caídas de tensión
- Balance de Carga
- Dimensionamiento y ubicación óptima del condensador
- Arranque de motor
- Análisis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

El software CYMDIST, mediante los análisis de cortocircuitos, ayuda a seleccionar de manera correcta los dispositivos de protección de sobrecorriente y ajustar adecuadamente su configuración de manera que se minimice el impacto causado por cualquier cortocircuito o falla del equipo.

Con la ayuda del módulo CYME, se puede verificar la coordinación de los dispositivos de protección, el tiempo de funcionamiento máximo “límite de disparo” y la corriente de carga continua permitida.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación realizado por los Ingenieros: Carlos Bonilla y Tatiana Espinoza, desde mi punto de vista como usuario del Software CYMDIST, es correcto, el mismo que servirá de guía técnica para las empresas eléctricas y en particular para la ELEPCO S.A.

Atentamente.



MSc. Luis Eduardo Chanatasig G.
Profesional del Departamento de Planificación de la ELEPCO S.A.

3.5. Evaluación de impactos o resultados

En esta tarea de investigación, vimos alternativas de como el Alimentador en estudio, se pueda modelar ajustar y coordinar sus protecciones de manera eficaz, para que su actuación en presencia de una determinada falla presente selectividad, sensibilidad, rapidez y confiabilidad, y por ende el contenido de esta investigación aporte al sector energético y al desarrollo económico de una población.

La experiencia desarrollada en la presente investigación relacionada a coordinación de protecciones del alimentador No. 3 de la S/E La Maná para la ELEPCO S.A, utilizando el Software CYMDIST, sirve como un prototipo de estudio para cualquier otra Empresa Eléctrica de Distribución u empresa privada que desee implementar un sistema de coordinación de protecciones, con la finalidad de cumplir con las regulaciones que emite el ARCONEL, como también el de evitar

dejar sin servicio a todo un circuito de un determinado alimentador primario principal.

3.6.Conclusiones del III capítulo

Visualizar gráficamente las curvas de protección de los fusibles, reconectador y relé, es de mucha ayuda e importancia puesto que, una pérdida de selectividad puede ser identificada sin necesidad de realizar un análisis exhaustivo del esquema de protecciones.

Las dos alternativas de coordinación de protecciones futuras del alimentador, garantizan una operación selectiva, confiable y rápida frente a eventos de falla, la elección de una de las dos alternativas dependerá de los escenarios de operación que se pueden presentar en el alimentador, como, por ejemplo, escenarios de transferencia de carga.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones generales

- Con el levantamiento realizado en campo, se verificó y actualizó los planos y diagramas unifilares del alimentador No. 3 de la S/E La Maná, en el cual se encontró datos erróneos como: Potencia de transformadores, conexión de fases en derivaciones monofásicas cambiadas, diferentes tipos de fusibles como los de tipo K, H y T, ubicación incorrecta de seccionamientos, entre otros, esta información fue de mucha utilidad para el análisis del presente estudio, que a la par servirá de actualización para la Dirección de Planificación de ELEPCO S.A.
- Una buena parte de los fusibles que constan en el sistema son de tipo K y H, los cuales son de actuación rápida y por ende no distingue una falla temporal o transitoria de una permanente, en cambio la pequeña parte de los fusibles instalados son de tipo T de actuación lenta, que permiten una mejor coordinación que el tipo K con los reconectores, además no actúan ante fallas temporales, para lo cual se propuso a la ELEPCO S.A la utilización del fusible tipo T en la troncal principal y sus derivaciones y los fusibles tipo SR en la protección de los transformadores.
- El software CYMDIST, permitió el cálculo de los flujos de potencia para obtener valores de voltajes y las corrientes de carga, así como también las corrientes de cortocircuito, en cada uno de los nodos del alimentador, con estos valores y el uso del software CYME, se realizó las respectivas

coordinaciones entre relé, reconectador y tirafusibles distribuidos a lo largo de los alimentadores en estudio.

- Acorde al análisis desarrollado, el esquema de protecciones del alimentador de estudio no está operando coordinadamente, por lo cual, es pertinente y necesario corregir este esquema de protecciones de tal manera que, frente a cualquier falla, el sistema actúe de manera selectiva, confiable y rápida.

4.2. Recomendaciones

- Acorde a la bibliografía consultada, dependiendo de los niveles de cortocircuito, en la troncal principal deben ir instalados máximo entre 3 a 4 fusibles, por lo tanto, de los resultados obtenidos en cada escenario analizado, se recomienda que exista un máximo de 3 fusibles más 1 reconectador en el troncal principal.
- Se recomienda a futuro eliminar los fusibles de la troncal principal y reemplazarlos con reconectores de tal manera que, de construir puntos de transferencia de carga, los elementos de protección no se sobrecargan y ocasionen la pérdida del servicio de energía eléctrica.
- Con la finalidad de cumplir la regulación 004/01 en lo referente al número de interrupciones y tiempos de desconexión, se recomienda adoptar a futuro una configuración de 2 a 3 reconectores instalados en la troncal principal y en el arranque de los ramales o derivaciones, dependiendo de los niveles de corriente de cortocircuito, instalar seccionalizadores.
- Se recomienda a la ELEPCO S.A, poseer un cronograma de actualización en la coordinación de protecciones de los equipos instalados en el alimentador de estudio, puesto que en el sector donde está situado, presenta constante crecimiento, tanto de población como de vegetación, de igual manera la presencia de descargas eléctricas.

- Para complementar la investigación es recomendable investigar el sistema de puesta a tierra ya que una instalación óptima se encargará de minimizar el impacto de las descargas atmosféricas en los sistemas de distribución.
- Es necesario recomendar a la Empresa Eléctrica Cotopaxi, que utilice los resultados obtenidos del presente estudio para la coordinación y ajustes de los equipos de protección del alimentador No. 3 de la S/E La Maná.

Referencias bibliográficas

Bibliografía

- [1] R. D. N. Lechón, *ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DE LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS DE LA SUBESTACIÓN SAN AGUSTÍN Y CREACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS EMPLEANDO LA METODOLOGÍA APLICADA EN EMELNORTE*, Quito, 2017.
- [2] V. J. A. Morales, *Coordinación de Protecciones en Sistemas de Distribución con Generación Distribuida*, Instituto Politécnico Nacional, México D.F., 2007.
- [3] L. Chanatasig, *Coordinación de protecciones de los alimentadores primarios a 13,8 kV de la S/E Pujilí para la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi*, Quito, 2016.
- [4] N. D. Mena Iván, *Planificación de expansión, estudio de coordinación y ajuste de protecciones del sistema occidental de ELEPCO S.A.*”, Latacunga, 2013.
- [5] S. R. Castaño, *Redes de Distribución de Energía (3era ed.)*, Colombia, 2009.
- [6] R. Navas, *Estudio de coordinación de protecciones de los alimentadores primarios de la subestación San Agustín y creación de un manual de procedimientos empleando la metodología aplicada en EMELNORTE*, Quito, 2017.
- [7] C. Cruz, *Diseño de la coordinación del sistema de protecciones eléctricas en los alimentadores interconectados urbanos de la EERSA*, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2015.
- [8] J. Gers y E. Holmes, *Protection of Electricity Distribution Networks - 2nd Edition*, The Institution of Electrical Engineers, Londres, 2004.

- [9] R. N. C. -. 004/01, *Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución*, Mayo de 2001.
- [10] J. Yebra, *Sistemas Eléctricos de Distribución*, Barcelona, 2009.
- [11] M. Villarroel, *Protecciones de Sistemas Eléctricos*, Temuco, Chile; Universidad de la Frontera, 2003.
- [12] V. C. J. E. Silva Morales Carlos Andrés, “*EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIONES E ÍNDICES DE CONFIABILIDAD ACTUALES EN LA CABECERA DE LA SUBESTACIÓN*”, Latacunga, 2020.
- [13] J. Grainger y W. Stevenson, *Protection of Electricity Distribution Networks*, Londres, Reino Unido: Macmillan Company, 2011.
- [14] D. Cuasapaz, *Estudio de coordinación de protecciones para los cinco alimentadores primarios de la subestación San Vicente de la Empresa Eléctrica Regional Norte EMELNORTE*, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2016.
- [15] «<http://metodologia02.blogspot.com/p/operacionalizacion-de-variables.html>,» [En línea].
- [16] M. Vergara, *Análisis y Mejoramiento del Sistema Primario de Distribución de la S/E 16, Río Coca de la EEQ S.A.*, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2010.
- [17] M. Soria, *Coordinación de Protecciones en Sistemas de Distribución Considerando el Ingreso de Generación Distribuida*, Quito, 2016.
- [18] A. d. J. O. López, *ESTIMACIÓN DE STADO Y UBICACIÓN OPTIMA DE MEDIDORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE EN REDES ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN*, Quito, 2018.
- [19] C. 9.0, CYME 9.0 - Load Allocation - User Guide, vol. 1, 2018, p. 15.
- [20] W. H. Kersting, *Distribution System Modeling and Analysis*.
- [21] C. V. A. a. C. A. C. R. A. Gamboa, *System Protection Coordination Study for Electrical Distribution System*, 2018, pp. 1-6.

- [22] U. Centro, B. D. E. Medell y E. S. P. U. Centro, GT-14 Guía Técnica : Coordinación de protecciones redes de distribución Septiembre 2019, 2019, pp. 1-34.
- [23] G. C. Guato y Z. A. Hidalgo, *Mejoramiento del Sistema de Protecciones de los Alimentadores Primarios de las S/E Puyo y Mushullacta pertenecientes a la Empresa Eléctrica Ambato S.A*, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2013.
- [24] P. Software, «CYME8.1 - Power Flow Analysis - user guide,» vol. 1, 2018, p. 51.
- [25] W. H. Kersting y R. K. Green, The application of Carson's equation to the steady-state analysis of distribution feeders, 2011, pp. 1-6.
- [26] A. Visuete, x ertai, machal, 2009.

ANEXOS

Anexo 1

Aprobación de solicitud de datos técnicos.



Memorando Nro. ELEPCOSA-DT-2021-0233-M

Latacunga, 10 de febrero de 2021

PARA: Sr. Ing. Jose Alberto Semanate Noroña
Presidente Ejecutivo

ASUNTO: Solicitud de datos técnicos alimentador 09MA13B1S3 "La Maná urbano-El Carmen" de la subestación La Maná

En atención al comentario de Presidencia Ejecutiva que dice: "favor analizar la presente solicitud y recomendar decisión", sobre el oficio S/N suscrito por el Ing. Carlos Bonilla, quien solicita datos técnicos del alimentador 09MA13B1S3 "La Maná urbano-El Carmen" de la subestación La Maná para realizar su proyecto de tesis denominado "COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR LA MANÁ URBANO – EL CARMEN 09MA13B1S3", me permito poner en su conocimiento que dicho estudio es conveniente para la operación del alimentador, por lo que me permito recomendar que se autorice a las Unidades de Subestaciones, Mantenimiento y Operación, del Departamento Técnico proporcionen los datos solicitados y posteriormente, sea entregada una copia de la tesis sin restricción de derechos de autor a las mismas Unidades a fin de que sea utilizada para la operación óptima del alimentador.

Atentamente,

Documento firmado electrónicamente

Ing. Ricardo Paucar Garcia
DIRECTOR TÉCNICO

Referencias:
- ELEPCOSA-PE-2021-00343-E

Anexos:
- dig_elepco_09-02-2021_1129.pdf

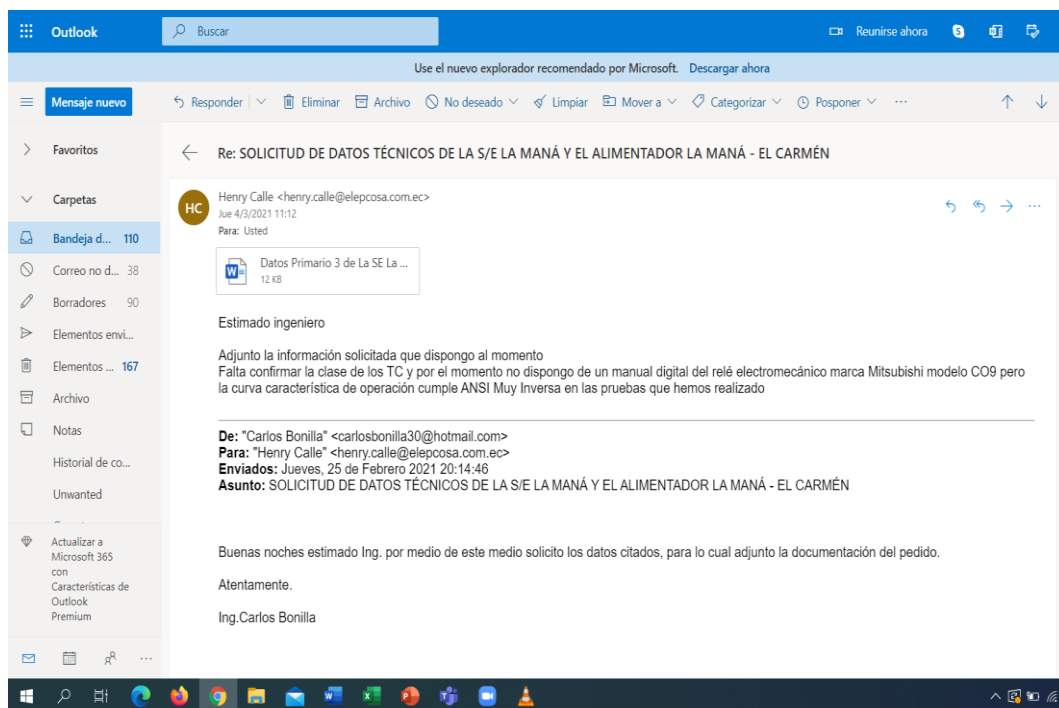
Copia:
Elsa Cecilia del Conzuelo Almeida G.
Archivo

Sra. Sonia del Rosio Patricia Viteri Acosta
Asistente Estadística e Información Técnica

sv



DATOS TÉCNICOS PROPORCIONADOS POR LA ELEPCO S.A



S/E LA MANA DISYUNTOR 3 Alimentador La Mana - El Carmen

Ajustes del dial, ~~tap~~ y tipo de curva característica del relé de fase 51 o del relé instalado en dicho alimentador

Curva característica: ANSI Muy Inversa

~~Dial~~: 2

~~Tap~~: 5

Ajustes del dial, ~~tap~~ y curva característica del relé 51n o del relé instalado en dicho alimentador

Curva característica: ~~ANSI~~ muy inversa

Dial: 2

~~Tap~~: 2

Ajuste instantáneo del relé 50

Arranque en 40 A secundarios

Ajuste instantáneo del relé 50n

Arranque en 40 A secundarios

Relaciones de transformación y clase de precisión de los transformadores de corriente

Relaciones de transformación: 300/5

Cargabilidad del alimentador: Conductor ~~acc~~ 3/0 en el troncal del primario

Nivel de cortocircuito trifásico y monofásico

LLL = 4756 A

~~LT~~ = 0 A

~~LT~~ = 4117 A

LLT = 4117 A

Marca y modelo del ~~relé~~

Relé electromecánico: Mitsubishi

Modelo: CO-9

Curva característica más cercana ANSI Muy Inversa

Manual del relé 50/51

No disponible

Capacidad del ~~trafo~~

10-12,5 KVA

Cargabilidad

70% a demanda pico

Ajustes del Reconector
instalado en El Carmen

Corriente nominal fases	42 Amp.	
	Fase.	
	Rápida	Lenta
Curva.	133 (C)	IEC-EI (C3)
Dial	0,10	0,25
Corriente neutro	24 Amps.	
	Neutro.	
	Rápida	Lenta
Curva	133 (C)	IEC-EI (C3)
Dial	0,10	0,35

Los Tirafusibles que utilizamos son del tipo T. y no se los valores que esturcan en cada seccionamiento.

Anexo 2

DATOS DE PLACA DEL TRANSFORMADOR DE LA S/E LA MANÁ

CAPACIDAD (MVA)	RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN (Kv)	IMPEDANCIA Z(%)	CONEXIÓN
10 – 12,5	69/13,8	5,80	DY1

Fuente: ELEPCO S.A.
Recopilación: Postulantes.

Anexo 3

CORRIENTE DE CARGA MÁXIMA EN EL ALIMENTADOR EN ESTUDIO.

ALIMENTADOR	CORRIENTE MÁXIMA (Amp)
S/E La Maná – El Carmen Tres coronas	153

Fuente: ELEPCO S.A.
Recopilación: Postulantes.

A estas cargas hay que aplicarle el factor de crecimiento con el fin de encontrar la carga de máximo pico del año horizonte. Este factor de crecimiento se define como:

$$K = \left(1 + \frac{r(\%)}{100}\right)^n$$

Dónde:

K = es el factor de crecimiento de carga

r(%) = tasa anual de crecimiento de carga, para el alimentador en estudio el valor de r = 2

n = número de años para el cual está previsto el estudio. En este caso está previsto para 5 años.

Anexo 4

NIVELES DE CORTOCIRCUITOS EN LA BARRA DE 13,8 kV S/E LA MANÁ

TIPO DE FALLA	MAGNITUD (Amp)	MAGNITUD (MVA)
Trifásica	4600	109.2
Monofásica	5100	40.9

Fuente: ELEPCO S.A.
Recopilación: Postulantes.

Anexo 5

AJUSTES ACTUALES DE PROTECCIONES.

Los ajustes actuales de las protecciones existentes en la S/E La Maná se presentan en los siguientes cuadros:

AJUSTE RELÉS DE SOBRECORRIENTE DEL CIRCUITO EN ANÁLISIS.

S/E	Voltaje (kV)	CIRCUITO	RELACION DE LOS TC'S	MODELO DEL RELÉ	AJUSTES DEL TAP		AJUSTES DEL DIAL
					FASE	NEUTRO	
La Maná	13,8	S/E La Maná- El Carmen-Tres Coronas	300/5	Mitsubishi CO-9	5	2	2

Ajuste instantáneo del relé 50

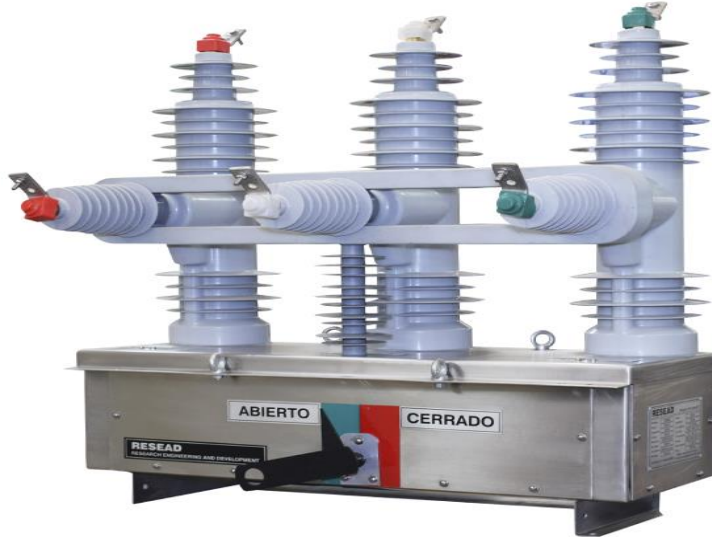
Arranque en 40 A secundarios

Ajuste instantáneo del relé 50n

Arranque en 40 A secundarios

Anexo 6

Reconectador tipo RESEAD y sus características técnicas



MODELOS		RIVE-15KV
Número De Fases		1F-2F-3F
Tensión Max. De Operación	KV	15.5
Frecuencia	Hz.	50-60
Corriente Nominal	A	630
Corriente De Interrupción Simétrica Nominal	kA	20
Capacidad De Cortocircuito Eff/Pico- 3seg.	kV	20/50
Tensión De Aguante Al Impulso Bil (Interno/Externo)	kV	110/125
Tensión De Aguante En Seco 60hz, 1 Min.	kV	50
Tensión De Aguante Húmedo 60hz, 10 Seg.	KV	45
Línea De Fuga	mm	905
Corriente De Corte De Carga Activa Nominal	A	630
Corriente De Corte De Cable Cargado	A	10
Corriente De Corte De Línea Cargado	A	2
Expectativa De Vida Eléctrica A Corriente Nominal	op.	10000
Expectativa De Vida Mecánica	op.	50000
Secuencia De Recierre	O-0.3S-CO-2S-CO-2S-CO (*)	
Mecanismo De Operación	Actuador magnético	
Medio De Extinción Del Arco		vacío
Tiempo De Apertura	mS	20-35
Tiempo De Cierre	mS	35-65
Transformador De Corriente Por Fase (*)	A	200-400/1
Transformador De Corriente De Secuencia Cero (*)	A	50-100/1
Voltaje Capacitivo		3 LEA
Fuente De Alimentación	Vac / Vdc	100-240
Modelo De Relé De Protección	SEL 351 / SEL 351RS / SEL751 / SEL651R	
Funciones De Protección (**)	50/51, 50N/51N, 27, 59, 81, 67, 32, 25, 79	
Puertos De Comunicación (***)	RS232/RS485/USB/Ethernet/Inig-B	
Protocolo De Comunicación (***)	ACSII, Modbus RTU, SNTP, DNP3 y IEC61850	
(*) Relación Estándar, Otra Relación Bajo Pedido		
(**) Funciones Acordes Con El Modelo De Relé SEL Solicitado		
(***) Puertos Y Protocolos De Comunicación De Acuerdo A Lo Solicitado		