



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN EN EL
ALIMENTADOR 01 DE LA SUBESTACIÓN “EL CALVARIO”
ELEPCO S.A. PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL
SERVICIO ELÉCTRICO, USANDO EL SOFTWARE ETAP**

AUTOR: CRISTIAN ABEL JIMÉNEZ PRUNA

DIRECTOR: ING. MIGUEL LUCIO

LATACUNGA

2015

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN EN EL ALIMENTADOR 01 DE LA SUBESTACIÓN “EL CALVARIO” ELEPCO S.A. PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO, USANDO EL SOFTWARE ETAP**” realizado por el señor **CRISTIAN ABEL JIMÉNEZ PRUNA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a el señor **CRISTIAN ABEL JIMÉNEZ PRUNA** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 08 de Diciembre del 2015

Atentamente,



Ing. Miguel Lucio
Director



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **CRISTIAN ABEL JIMÉNEZ PRUNA**, con cédula de identidad N° 050311925-7, declaro que este trabajo de titulación “**ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN EN EL ALIMENTADOR 01 DE LA SUBESTACIÓN “EL CALVARIO” ELEPCO S.A. PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO, USANDO EL SOFTWARE ETAP**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las referencias bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 08 de diciembre del 2015



CRISTIAN ABEL JIMÉNEZ PRUNA
C.C.: 050311925-7



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, **CRISTIAN ABEL JIMÉNEZ PRUNA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN EN EL ALIMENTADOR 01 DE LA SUBESTACIÓN “EL CALVARIO” ELEPCO S.A. PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO, USANDO EL SOFTWARE ETAP”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 08 de diciembre del 2015



CRISTIAN ABEL JIMÉNEZ PRUNA
C.C.: 050311925-7

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, y de manera especial a mi madre, a ella porque nadie más peleó tantas batallas a mi lado, a ella porque ha llorado mi dolor, a ella porque nadie más vivió las victorias que he tenido con tanto júbilo, tanto incluso mayor que el mío.

A mis hermanos, ya que junto a ellos fui quien yo fui, y soy quien ahora soy.

Como llegada a mi vida en sueño, como si a la vuelta de la esquina estuviese por definirse el destino de una persona, se lo dedico a mi amada esposa, a ella que siempre creerá en mí, para ella la alegría hallada con este nuevo peldaño alcanzado.

AGRADECIMIENTO

La gratitud es un valor humano que engrandece al hombre haciendo trascender a lo largo de su camino, por ello como no ser grato con la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL quienes abrieron sus puertas a las aulas de saber; al Ing. Miguel Lucio quien me supo brindar sus conocimientos, cediendo parte de su tiempo para así llegar a ser un mejor profesional, al personal docente que siempre estuvo presto para despejar mis inquietudes.

A la Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi S.A. a todo su personal y en especial al Departamento Técnico a cargo del Ing. Henry Calle por ayudarme siendo fuente de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCION	xv
ANTECEDENTES	xv
OBJETIVOS	xvi
JUSTIFICACION	xvi
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES	1
1. Sistema Eléctrico de Cotopaxi.....	1
1.1. Breve reseña histórica.....	1
1.2. Fuentes de suministro de Energía Eléctrica.....	3
1.2.1. Generación Propia.	3
1.2.2. Generación Sistema Eléctrico Interconectado.	4
1.3. Descripción de las S/E en ELEPCO S.A.....	4
1.4. Parámetros utilizados dentro del Estudio.....	6
1.4.1. Alimentador Primario.....	6
1.5. Características y Tipos de Sistemas de Protección	9
1.5.1. Protección de Sobre corriente.....	9
1.5.2. Protección de diferencial de voltaje.....	10
1.5.3. Protección Direccional de Sobre-Intensidad	11
1.5.4. Protección Diferencial de Barras.....	11

	viii
1.5.5. Capacidad de Interrupción	12
1.6. Equipos de Protección y Seccionamiento	12
1.6.1. Seccionadores y Seccionadores Fusibles.....	13
1.7. Software ETAP.....	21
CAPÍTULO II	
ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES.....	
	27
2.1. Filosofía de la Coordinación de Equipos de Protección	27
2.2. Coordinación de Protecciones.....	28
2.2.1. Coordinación Fusible – Fusible	32
2.2.2. Coordinación Reconectador – Fusible	36
2.2.3. Coordinación Relé – Reconectador	36
2.2.4. Coordinación Reconectador – Seccionalizador.....	36
2.4. Indicador referido a la Demanda Interrumpida	37
2.4.1. Determinación de Estados	38
CAPÍTULO III	
DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN DEL ALIMENTADOR	
01 EN LA S/E “ELCALVARIO”	
	40
3.1. Situación actual del Alimentador 01 de la Subestación	40
3.1.1. Diagrama Unifilar de la Subestación	41
3.2. Levantamiento de Sitio	42
3.2.1. Características Técnicas de los Elementos de Protección.....	42
3.2.2. Localización de Equipos de Protección.....	44
3.2.3. Descripción del Área Problemática	45
3.2.4. Levantamiento de Datos y Análisis de los Parámetros de Campo.....	45
3.2.5. Configuración actual del Sistema de Protecciones.	46
3.2.6. Modelamiento del sistema de Protecciones Software ETAP.....	53
3.2.7. Estudio de flujos de carga utilizando el Software ETAP.....	54
3.2.8. Estudio corrientes de Corto Circuito utilizando el Software ETAP	55
CAPÍTULO IV	
REDISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIONES.....	
	57

4.1.	Esquema de Protecciones Propuesto	57
4.2.	Localización Óptima de los Equipos	58
4.3.	Dimensionamiento y selección de fusibles dentro del Estudio Propuesto para los centros de transformación.....	60
4.3.1.	Transformadores aéreos monofásicos	60
4.3.2.	Transformadores aéreos trifásicos	61
4.4.	Coordinación de Protecciones	62
4.4.1.	Coordinación Fusible – Fusible	63
4.4.2.	Coordinación Reconectador - Fusible	66
4.4.3.	Coordinación Relé – Fusible	74
4.4.4.	Coordinación Relé – Reconectador	78
4.5.	Cálculo de Índices de Confiabilidad Actuales en el Alimentador 01 de la Subestación “El Calvario”	79
4.6.	Cálculo de Índices de Confiabilidad al sistema de Rediseño Propuesto.....	81
4.7.	Análisis de Resultados	83
4.8.	Inversiones.....	83
4.9.	Ahorro por reducción de energía no suministrada	85
CAPÍTULO V		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
		89
5.1.	Conclusiones.....	89
5.2.	Recomendaciones	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		
		92
ANEXOS.....		
		93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Subestaciones ELEPCO S.A.	5
Tabla 2 Criterios de protecciones	29
Tabla 3 Resultados del estudio de coordinación.....	34
Tabla 4 Elementos de protección instalados en el Alimentador estudiado	43
Tabla 5 Transformadores pertenecientes al alimentador en estudio	47
Tabla 6 Fusibles como elemento de protección de transformadores.....	52
Tabla 7 Fusibles como elemento de protección de Ramales.....	53
Tabla 8 Elementos que interactúan con la coordinación en el primer Ramal ...	63
Tabla 9 Cuadro de Protecciones de los Ramales donde se instalarán los Reconectores	68
Tabla 10 Cuadro Coordinación Ramales protegidos con Reconectores.....	70
Tabla 11 Factor de multiplicación para las curvas rápidas del reconector....	72
Tabla 12 Valores de calibración para las unidades instantáneas de los Reconectores.	73
Tabla 13 Valores del Relé de la subestación	77
Tabla 14 Resumen Coordinación Reconector - Relé.....	79
Tabla 15 Tiempos medios en interrupción	80
Tabla 16 Índices de Calidad para el sistema Actual	81
Tabla 17 Índices de Calidad para el sistema Propuesto	82
Tabla 18 Presupuesto asumible para adquisición e instalación de fusibles SloFast Dual.....	84
Tabla 19 Presupuesto asumible para adquisición e instalación de Tira.....	84
Tabla 20 Presupuesto asumible para adquisición e instalación de Seccionalizadores y Reconectores	85
Tabla 21 Presupuesto asumible para adquisición e instalación de Equipos de Protección para el Alimentador Primario Oriental	85
Tabla 22 Cálculo de la Energía no Suministrada para el Sistema Actual	86
Tabla 23 Costos generados por la Energía no Suministrada.....	86
Tabla 24 Cálculo de la Energía no Suministrada para el Sistema Propuesto ...	87

Tabla 25 Cronograma de Suspensión Programada del Servicio para instalación de equipos nuevos en el Alimentador 01 Oriental....	87
Tabla 26 Costo final de energía no Suministrada para el Sistema Propuesto ..	87
Tabla 27 Costo del ahorro del Sistema Propuesto vs el Sistema Actual	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Características de operación de fusibles	15
Figura 2 Curvas de Tiempo vs Corriente	23
Figura 3 Secuencia de Operación de Dispositivos.....	23
Figura 4 Gráfica de la ubicación de una falta/falla en el sistema directamente en su diagrama unifilar	24
Figura 5 Coordinación de protecciones	28
Figura 6 Coordinación fusible – fusible	33
Figura 7 Curvas T-I para coordinación del circuito.....	34
Figura 8 Diagrama Unifilar S/E “El Clavario”	41
Figura 9 Mapa geo referenciado del Alimentador	45
Figura 10 Modelo del diagrama Unifilar del ANEXO 3.1	54
Figura 11 Modelo del diagrama Unifilar bajo el estudio de Flujos de Carga ANEXO 3.4	55
Figura 12 Modelo del diagrama Unifilar bajo el estudio de Cortocircuito ANEXO 3.4	56
Figura 13 Curva de un transformador monofásico y su elemento protector (fusible)	61
Figura 14 Curva de un transformador trifásico y su elemento protector (fusible)	62
Figura 15 Curvas de Fusibles tipo T de la marca AB CHANCE.....	64
Figura 16 Valor del tiempo mínimo de fusión del fusible modelado en el software ETAP	65
Figura 17 Curvas de coordinación del primer Ramal.	66
Figura 18 Curvas Coordinación Reconectador - Fusible	73
Figura 19 Curvas Fusible - Relé	76
Figura 20 Curvas de coordinación Relé - Fusible	78
Figura 21 Curvas de coordinación Reconectador - Relé.	79

RESUMEN

En primer lugar se llevó a cabo una investigación obteniendo así información acerca del estado actual del sistema de protecciones en el cual se aplica el estudio, luego se investigó y calculó los elementos óptimos para el modelamiento del sistema de protecciones así como también los diferentes parámetros que usados para identificar y asegurar la confiabilidad del servicio eléctrico, resaltando entre ellos los más importantes y finalmente seleccionando el o los equipos idóneos para la aplicación especificada. Por otro lado se tomó en cuenta los conceptos de ingeniería dentro de las diferentes líneas de investigación en las que este proyecto se desarrolla como guía para la realización de cálculos y simulaciones que son necesarias para determinar los equipos y la coordinación de protecciones, además de la apropiada utilización del paquete computacional ETAP con el fin de abarcar aspectos esenciales tales como: corrientes de cortocircuito, seccionadores, disyuntores, filosofía de coordinación de protecciones, entre otros que fueron de utilidad en el momento de emitir una propuesta satisfactoriamente comprendiendo los criterios y necesidades de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi.

PALABRAS CLAVE:

- **ELECTROMECAÁNICA**
- **ELEPCO S.A.**
- **SOFTWARE ETAP**
- **PROTECCIONES ELÉCTRICAS**

ABSTRACT

First it was carried out an investigation and obtaining information about the current state of the system of protection in which the study is applied, then researched and calculated the optimal elements for modeling system protection as well as the different parameters used to identify and ensure the reliability of electric service, including highlighting the most important and finally selecting the appropriate equipment or the specified application. Furthermore it is taken into account engineering concepts within different research areas in which the project is developed as a guide for performing calculations and simulations that are necessary to determine the equipment and protection coordination, in addition to the appropriate use of ETAP software package in order to cover essential aspects such as short-circuit currents, circuit breakers, protection coordination philosophy, among others that were useful at the time of issuing a proposal satisfactory understanding the criteria and requirements Cotopaxi Provincial Electric Company.

KEYWORDS:

- **ELECTROMECHANICAL**
- **ELEPCO S.A.**
- **SOFTWARE ETAP**
- **ELECTRIC PROTECTIONS**

INTRODUCCIÓN

A medida que la energía eléctrica cubre más necesidades de confort en las viviendas y en la producción, la disponibilidad y confiabilidad del servicio alcanzan cada vez mayor importancia. Los consumidores están menos prestos a soportar las interrupciones en el servicio mientras que por otro lado los entes reguladores demandan cada vez de mejores estándares a las empresas eléctricas. Es entonces digno de considerar que una excelente confiabilidad del 99,9% resulta en cerca de 8,75 horas de privación del servicio en el año, para identificar las dificultades que estas cifras conllevan se debe resaltar que la seguridad de la operación de los sistemas eléctricos depende del mantenimiento, de las estrategias de operación, de los planes de contingencia, de la disponibilidad del equipo y la rapidez de respuesta ante una falla.

ANTECEDENTES

Durante sus cien años de existencia las Empresas Eléctricas han mantenido energizada la vida de la población permitiendo avances en la industria, telecomunicaciones lo que ha permitido un desarrollo social, sin embargo en un inicio se daba más énfasis en brindar un servicio eléctrico a la mayor cantidad de clientes que sea posible prestando poca atención a la confiabilidad y calidad con la cual llega a su destino este servicio básico.

Pero a medida que las exigencias para alcanzar el buen vivir han crecido la necesidad de contar con un servicio fiable, estable y de calidad también lo han hecho, dando así esa importancia dentro de la cual no se puede descuidar ninguno de los componentes que conforman la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica para los cuales es imperioso el realizar estudios y análisis que permitan diseñarlos, construirlos y operarlos conforme a un plan de contingencia y maniobras que otorga mayor control sobre ellos.

El sistema de protecciones en una subestación está destinado a preservar la integridad de los equipos de mayor valor tanto económico como por su imprescindible funcionamiento en la red teniendo en cuenta que durante la

operación o mantenimiento de los equipos se tenga que retirar el servicio de energía eléctrica al menor número de usuarios y por el menor tiempo posible mientras dure la falla o motivo que ha puesto en operación al elemento de protección o durante las labores que hayan sido planificadas por las Empresas Eléctricas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Adecuar el sistema de protección en el Alimentador 01 de la Subestación “El Calvario” ELEPCO S.A. para mejorar la confiabilidad del servicio eléctrico, usando el software ETAP.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el diagnóstico del estado actual del sistema de protecciones en el Alimentador 01 de la Subestación “El Calvario” ELEPCO S.A.
- Modelar el sistema de protecciones en el Alimentador 01 de la Subestación “El Calvario” ELEPCO S.A.
- Rediseñar el sistema de protecciones con la ayuda del paquete computacional ETAP.
- Elaborar una Propuesta de Rediseño competente al dimensionamiento de equipos de protección y su coordinación que otorguen confiabilidad del servicio eléctrico.
- Analizar los resultados obtenidos en función de la confiabilidad, y beneficios logrados con la implementación del sistema.

JUSTIFICACIÓN

El presente estudio tiene como objetivo realizar una adecuación del sistema de protecciones en alimentador 01 de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi con la finalidad de que esta pueda brindar un servicio eléctrico

confiable en vista del cambio de la matriz energética mismo que ha aumentado cargas para las cuales los equipos instalados por su tiempo de uso han quedado obsoletos donde la confiabilidad y la calidad de energía se ven reducidos debido a las distorsiones de la forma de onda (armónicos) y fluctuaciones de tensión (Flicker) ya que con la presencia de estas perturbaciones se altera el comportamiento de los equipos, las máquinas que conforman un sistema eléctrico de potencia, y afectando la vida útil de estos; las deficiencias en el suministro del servicio eléctrico es un problema que deteriora también a los equipos conectados a la red, esto acarrea la interrupción de procesos industriales, daño de equipos dando lugar a enormes pérdidas económicas *por lo cual el propósito fundamental de esta investigación se basa en adecuar el sistema de protección del alimentador 01 de la Subestación “El Calvario” (ELEPCO S.A.), con el fin de obtener confiabilidad y disminuir riesgos de operación y mantenimiento del sistema.*

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1. Sistema Eléctrico de Cotopaxi

1.1. Breve reseña histórica

Fuente: (Empresa Electrica Provincial de Cotopaxi ELEPCO S.A., 2012)

ELEPCO S.A. como empresa destinada a brindar el servicio básico de energía eléctrica a la población de la provincia de Cotopaxi describe su historia resumiéndola como sigue:

El día domingo 11 de abril de 1909 el Coronel Justiniano Viteri, Presidente del Consejo Municipal de Latacunga, inauguró en forma oficial el servicio de Alumbrado Eléctrico de esta ciudad, conformándose lo que se llamó los Servicios Eléctricos Municipales, entidad que desde aquella fecha fue la encargada de administrar la energía eléctrica producida por una pequeña planta hidráulica de 30 KWs. localizada en el barrio Miraflores, el servicio que se brindaba era exclusivamente de alumbrado de domicilios y de las calles céntricas de la ciudad. Al transcurrir los años y al incrementarse la utilización del servicio eléctrico fue necesario que en 1925 se inaugure otra Central Hidráulica de 300 KWs. En el Río Yanayacu. El voltaje al cual se generaba era el mismo al que se distribuía y se consumía, es decir 110/220 V. con la primera central y luego con la segunda distribuida a 2.400 V. Al seguir creciendo la demanda eléctrica, se mentalizó el proyecto Illuchi a 10 Kms. al oriente de la ciudad de Latacunga y es así que en 1951 el Alcalde de Latacunga Don Rafael Cajiao Enríquez inaugura la primera etapa de dos Grupos Hidráulicos de 700 KWs cada uno. En la segunda etapa se instaló el tercer grupo, 1400 KWs, entrando en operación en 1955. En 1967 entró en operación la Central Illuchi N° 2 con 1400 KWs. Los caudales de agua que se "aprovechaban eran de las lagunas de Piscacocha y Salayambo. Y las captaciones de las acequias

Retamales, Ashpacocho y Dragones. Con las nuevas centrales se cambió el sistema de distribución a 6.300 V. y el servicio eléctrico se extendió a las zonas rurales, es decir, a las parroquias de Aláquez, Joseguango, Guaytacama, Mulaló, Tanicuchí, Toacazo, Pastocalle, a 29 recintos y caseríos; además se vendía en bloque a los municipios de Pujilí y Saquisilí. El día 2 de mayo de 1975 el Instituto Ecuatoriano de Electrificación INECEL se hace cargo de la administración de la energía eléctrica de Cotopaxi y funda el Sistema Eléctrico Latacunga (S.E.L.), inmediatamente inicia sus labores, sus primeras obras fueron la reparación de las Centrales Hidráulicas y el revestimiento de 15 Kms. del canal de Aducción. Luego desde 1976 se inicia una remodelación integral y ampliación de las redes de distribución de las zonas rurales de la provincia. Las redes de distribución se constituyeron exclusivamente en postes de madera tratada y de hormigón con conductores de aluminio y con un voltaje de 13.800 V. en el año de 1983, este programa de remodelación fue concluido. En el mes de mayo de 1977 el S.E.L. se interconecta al Sistema Nacional mediante la S/E San Rafael y una línea de 69 KV. Hasta la ciudad de Ambato. Con este suceso el S.E.L. inicia una ampliación sin precedentes ya que se comienza a dar energía a varias fábricas antiguas y nuevas en la vía a Lasso. A la vez se comienza a proporcionar la integración de los cantones Salcedo, Saquisilí y Pujilí. Mediante sendos Convenios de Administración y Fideicomiso se logra la integración al S. E. L., de los cantones, en mayo de 1979 Salcedo; el 30 de junio de 1980 Pujilí y el 28 de marzo de 1982 Saquisilí. Ante el notario segundo del cantón Latacunga el 25 de noviembre de 1983 se otorga la escritura pública de constitución de la compañía anónima denominada "EMPRESA ELECTRICA PROVINCIAL DE COTOPAXI S.A., ELEPCO S.A." El 1^º de febrero de 1984 entra en funcionamiento la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., siendo sus Accionistas INECEL y los Ilustres Municipios de Latacunga, Saquisilí, Salcedo y Pujilí. En el mes de marzo de 1987 se realiza la construcción de la ampliación de las Centrales Hidráulicas Illuchi N° 2, con el financiamiento de INECEL y de fondos propios de la Empresa. Esta ampliación tiene 5200 KWs

divididos en dos grupos, inició su funcionamiento en el mes de diciembre de 1987. La Junta General de Accionistas en sesión extraordinaria del 29 de diciembre de 1994, aprobó la incorporación del H. Consejo Provincial de Cotopaxi y de la Ilustre Municipalidad de Pangua como accionistas de ELEPCO S.A.

1.2. Fuentes de suministro de Energía Eléctrica.

ELEPCO S.A. toma la energía del sistema nacional interconectado en tres sitios diferentes: Ambato, Mulaló y Quevedo. Esto hace que eléctricamente se formen tres subsistemas independientes con diferentes equivalentes de generación.

El sistema de Subtransmisión de ELEPCO S.A. está conformado por fuentes de energía propias provenientes de Centrales de Generación Hidroeléctrica, por nodos de interconexión al sistema nacional interconectado en subestaciones de distribución y redes que interconectan a esas instalaciones.

1.2.1. Generación Propia.

En términos de generación propia la empresa eléctrica de Cotopaxi se abastece con cinco Mini Centrales Hidroeléctricas, que aportan aproximadamente con el 19% del total de la demanda de energía, estas están ubicadas en diferentes sectores de la provincia. Las centrales con mayor aporte energético son: Central "ILLUCHI 1" con una capacidad de 5.24 MVA y la Central "ILLUCHI 2" con una capacidad de 6.5 MVA ubicadas en el sector oriental de la ciudad de Latacunga. Las centrales de menor aporte, se encuentran ubicadas en el sector occidental de la Provincia de Cotopaxi siendo estas: Central "El Estado" con una capacidad de 2.125 MVA ubicada en el cantón La Mana, Central "Catazacón" con una capacidad de 1.0 MVA ubicada en el cantón Pangua y la Central "Angamarca" con una capacidad de 0.375 MVA ubicada en el cantón Pujilí.

1.2.2. Generación Sistema Eléctrico Interconectado.

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. Cuenta con dos fuentes de suministro de potencia y energía conectadas por nodos al Sistema Nacional Interconectado, que aportan aproximadamente el 81% de la demanda energética total.

El primer nodo es la Subestación “Mulaló” que está interconectada con la línea de transmisión de la Central de Generación Hidroeléctrica “Pucara – Santa Rosa” a un nivel de voltaje de 138 KV. Esta S/E tiene una capacidad de transformación de 50/63 MVA, que reduce el nivel de voltaje de 138 KV a 69 KV.

El segundo nodo es la subestación “Ambato” que está interconectada con la línea de transmisión “Pucara – Totoras” misma que trabaja a un nivel de voltaje de 138 KV y cuenta con una capacidad de transformación de 33/44 MVA, que reduce el nivel de voltaje de 138 KV a 69 KV.

1.3. Descripción de las S/E en ELEPCO S.A.

En las subestaciones, existen elementos tales como: interruptores, cuya función es la de unir o abrir circuitos entre sí, transformadores de potencia, encargados de transmitir la potencia de un sistema a otro con las características parametrizadas según la necesidad de voltaje y corriente, transformadores de medida, que se encargan de obtener las características de la señal eléctrica para fines de protección y registro, seccionadores, que unen o separan circuitos, bancos de capacitores, que sirven para compensar la caída de tensión al final de la línea de transmisión, los pararrayos que protegen contra descargas atmosféricas entre otros.

Las subestaciones de distribución de energía eléctrica dentro del sistema ELEPCO S.A., cuentan con 74,25 MVA de capacidad instalada y las subestaciones de elevación en las centrales de generación cuentan con 15,62 MVA. En la provincia de Cotopaxi, existen las siguientes subestaciones:

Tabla 1

Subestaciones ELEPCO S.A.

Subestaciones	Voltaje (KV)	Topología	Capacidad(MVA)
S/E Salcedo	69/13,8	Dyn1	10/12,5
S/E San Rafael	69/13,8	Dyn1	Oct-13
S/E El Calvario T1	23/13,8	Dyn1t	4/5,2
Illuchi I	2,4/22	Dy0	3x1,75
Illuchi II	2,4/13,8 - 69/13,8	Yd5	6,5
S/E La Cocha	69/13,8	Dyn1	10/12,5
S/E Lasso T1	69/13,8	Dyn1	10/12,5
S/E Lasso T2	69/13,8	Dyn1	20
S/E Mulaló	69/13,8	Dyn1	10/12,5
S/E Sigchos	4,16/13,8	Dyn1	5
S/E El Estado	0,44/13,8	Ynd11	2,5
S/E Catazacón	4,16/13,8	Ynd11	1

Fuente: Archivos de Elepco S.A.

Subestación de Distribución “El Calvario”.

La subestación de distribución “El Calvario” delimitada por las calles al sur Isla Floreana, al este San Salvador y; al oeste avenida Oriente y calle Fernandina. Tiene un patio de 22/13,8/6,3 kV. Se encuentra interconectada con la S/E “La Cocha” y con la S/E “San Rafael” a un voltaje de 131.8 KV, además tiene la alimentación de la Central de Generación Hidroeléctrica “Illuchi 1” que proporciona un voltaje de 22 KV y de la Hidroeléctrica “Illuchi 2” que genera a un voltaje de 13.8 KV. Posee un transformador con una capacidad de 4/5.2. Tiene protección en alto y medio voltaje con relés de sobrecorriente y relés diferenciales.

En 22 kV se tienen 3 transformadores de 1750 kVA cada uno de 6,4% de impedancia de corriente continua y una conexión estrella/estrella (Y/Y) aislado de tierra, los mismos que son reducidos a 6,3 kV para su distribución en el sector centro de la ciudad de Latacunga. En 13,8 kV se encuentra un transformador de 4/5,2 MVA con 5,81% de impedancia de corriente continua y una conexión delta/estrella (Δ/Y) a tierra, funcionando como elevador o reductor según la necesidad. La salida de 13,8 kV dispone de dos salidas; la salida 1 del alimentador oriental y centro sur; la salida 2 del alimentador Industrial Sur y Av. Sur. Mientras que la salida 3 del alimentador centro norte-la estación; la salida 4 del alimentador norte y la FAE. El plano facilitado por ELEPCO S.A. se muestra en el Diagrama 1 del ANEXO 1.1.

1.4. Parámetros utilizados dentro del Estudio.

Para entender y adentrarse en la materia (protecciones eléctricas) se debe comprender los elementos y conceptos que se manejarán dentro del estudio.

De esta manera se citarán los siguientes como más relevantes y a priori los que se tendrán en cuenta para futuros cálculos.

1.4.1. Alimentador Primario.

El alimentador primario es el encargado de que la energía eléctrica llegue desde las subestaciones de potencia hasta los transformadores de distribución. Los conductores van soportados en poste cuando se trata de instalaciones aéreas y en ductos cuando se trata de instalaciones subterráneas.

Los componentes de un alimentador primario son:

- Troncal, es el tramo de mayor capacidad del alimentador que transmite la energía eléctrica desde la subestación de potencia a los ramales. En los sistemas de distribución estos conductores tienen un calibre

considerable, por ejemplo: 336, 556 y hasta 795 MCM, ACSR (calibre de aluminio con alma de acero), dependiendo del valor de la densidad de carga.

- Ramal, es la segunda parte del alimentador primario que recibe la energía eléctrica desde un troncal, en el cual van conectados los transformadores de distribución y servicios particulares suministrados en media tensión. Normalmente los conductores son de un calibre menor a los que se encuentran instalados en el troncal.

Voltaje Nominal.

Los alimentadores primarios de manera general que trabajan en la empresa eléctrica de Cotopaxi toman los valores de las subestaciones, pudiendo ser estos de 69KV o 13,8 KV.

El alimentador seleccionado para el estudio de protección está operando a voltaje nominal de 13,8 KV.

Representación y Modelo Constructivo.

Los alimentadores primarios normalmente se estructuran en forma radial, en un sistema de este tipo la forma geométrica del alimentador semeja la de un árbol, donde por el grueso del tronco, el mayor flujo de la energía eléctrica se transmite por toda una troncal, derivándose a la carga a lo largo de los ramales.

Los alimentadores primarios por el número de fases e hilos se pueden clasificar en:

- Trifásicos tres hilos.
- Trifásicos cuatro hilos.
- Monofásicos dos hilos.
- Monofásicos un hilo.

Corriente de Corto Circuito.

Si por casualidad en un circuito eléctrico se unen accidentalmente los extremos o cualquier parte metálica de dos conductores de diferente polaridad o fase que hayan perdido su recubrimiento aislante, la resistencia en el circuito se anula y el equilibrio que proporciona la Ley de Ohm se pierde.

El resultado se traduce en una elevación brusca de la intensidad de la corriente, un incremento violentamente excesivo de calor en el cable y la producción de lo que se denomina “cortocircuito”.

La temperatura que produce el incremento de la intensidad de corriente en amperes cuando ocurre un cortocircuito es tan grande que puede llegar a derretir el forro aislante de los cables o conductores, quemar el dispositivo o equipo de que se trate si éste se produce en su interior, o llegar, incluso, a producir un incendio. (Álvarez, 2014)

Corriente Nominal.

La intensidad nominal es la corriente que debe suministrar el sistema para que una unidad funcione en su punto de funcionamiento nominal, es decir, para su punto óptimo de rendimiento.

Voltaje Tolerable.

El voltaje de diseño del equipo de protección debe ser mayor que el voltaje fase a fase que existe en el lugar de la instalación, si el equipo es instalado en un ramal monofásico de un sistema trifásico, el voltaje de diseño del elemento de protección debe exceder al voltaje fase a neutro.

Nivel de Aislamiento

El nivel básico de aislamiento (BIL) debe ser escogido mediante una comparación con los otros equipos en donde el elemento va a ser instalado.

1.5. Características y Tipos de Sistemas de Protección

Todo sistema eléctrico tiene que estar dotado de una serie de protecciones que lo hagan seguro, tanto desde el punto de vista de conductores y equipos que conectados a la red, como de las personas que han de trabajar con ellos. Existen muchos tipos de protecciones que pueden hacer de una instalación eléctrica completamente segura ante cualquier contingencia, pero hay tres que deben usarse con prioridad en toda instalación de: alumbrado, doméstica, industrial, redes de distribución, circuitos auxiliares, etc. Estas protecciones eléctricas son: contra cortocircuitos, contra sobrecargas y contra electrocución. (Valdiviezo, 2003)

La protección de sistemas eléctricos es considerada como un arte y una ciencia, bien fundamentada por principios científicos y de ingeniería que son seguidos cuando se calculan las corrientes de falla, se determinan las características nominales requeridas de los equipos y luego se determina si los sistemas de protección se coordinan adecuadamente. Se consideran además otras técnicas que no están muy bien definidas como las reglas para especificar las zonas de protección, ubicación de los equipos de protección y tipos de equipos de protección de acuerdo a su ubicación. Otras consideraciones que son características de cada sistema de potencia tales como la localización y naturaleza de las cargas y las condiciones ambientales del circuito a proteger deben ser tenidas en cuenta en el diseño de sistemas de protección. (Castaño, Protección de Sistemas Eléctricos, 2003)

1.5.1. Protección de Sobre corriente

Uno de los fenómenos más comunes que se presentan durante las anomalías en un sistema eléctrico de potencia y en especial en los cortocircuitos, es el aumento de la corriente por sobre los valores normales de operación. Este aumento se utiliza para discriminar la ocurrencia de fallas, ya sea como protección principal o de respaldo y el relé se denomina de sobre

corriente. Es uno de los sistemas más simples y se usa ampliamente, especialmente en alimentadores radiales de distribución (10 a 25 kV en Chile) y transformadores de poca potencia (hasta 4 MVA). Como protección de respaldo se usa en equipos más importantes dentro del SEP, tales como: generadores, transformadores de mayor potencia, líneas de media tensión, etc.

El funcionamiento de un relé de sobre corriente es simple ya que su operación depende de dos variables básicas:

- El nivel de corriente mínima de operación (o corriente de pickup), que es aquel valor que produce el cambio de estado del relé.
- La característica de tiempo de operación, es decir la forma en que el relé responde en cuanto al tiempo.

1.5.2. Protección de diferencial de voltaje

Sobre Voltaje

Existen cuatro tipos de sobretensiones que pueden afectar a las cargas y a las instalaciones eléctricas:

- Sobretensiones de origen atmosférico.
- Sobretensiones de funcionamiento o maniobra.
- Sobretensiones de transitorios de frecuencia industrial.
- Sobretensiones producidas por descargas electrostáticas.

Bajo Voltaje

Cuando existe caída de tensión por debajo de la norma, también se considera una falla en el sistema y por ende las protecciones deben calibrarse con el afán de mitigar el problema.

1.5.3. Protección Direccional de Sobre-Intensidad

Protección de sobreintensidad direccional (67/67N) La protección de sobreintensidad puede ser usada para medir no solamente la magnitud de la intensidad sino también su sentido; es decir, el sentido del flujo de la potencia entregada, para lo cual se toma como referencia la tensión del sistema, conformando una protección de sobreintensidad direccional. El código ANSI es 67/67N. Esta protección tiene diversas aplicaciones como protección principal de líneas aéreas y cables, de transformadores de distribución, motores entre otras muchas. También es usada como protección de respaldo para transformadores de potencia y generadores grandes y como protección de emergencia para protecciones de distancia y diferenciales de línea. En transformadores de potencia conectados en paralelo y en líneas paralelas alimentadas por un extremo, las protecciones de sobreintensidad necesitan el criterio de direccionalidad para ser selectivas. En estos casos se requiere la medida de las tensiones para determinar la dirección del aporte de energía a la falta. El disparo queda bloqueado con flujo de intensidad de falta contrario al ajustado, la direccionalidad se representa en los esquemas de protección con una flecha que indica el sentido del flujo de intensidad que producirá disparo. (Cuevas Alvarez, 2012)

1.5.4. Protección Diferencial de Barras

La protección diferencial, es el sistema de protección más utilizado en las instalaciones nuevas, ya que detecta tanto las fallas de fase como las de tierra. Hay muchas variedades de protección diferencial, cada una de ellas tiene sus propias características. El concepto es una extensión de la ley de Kirchhoff que establece que la suma de corrientes que ingresan a un nodo determinado es igual a la suma de las corrientes que salen del mencionado nodo. (Sánchez, 2012)

En la protección diferencial de barras se usan varios esquemas:

- Protección diferencial mediante relé de sobrecorriente.
- Protección diferencial de voltaje con “acopladores lineales”
- Protección diferencial porcentual.
- Protección diferencial de baja impedancia.
- Protección diferencial de alta impedancia.

1.5.5. Capacidad de Interrupción

Capacidad de interrupción de corriente simétrica

Es el valor de la componente simétrica de la corriente r.m.s. de cortocircuito (I_{sym}) en amperios en el instante de la separación del contacto, que el disyuntor está obligado a interrumpir a un voltaje de operación específico, en la secuencia de operación y componente de corriente continua, de menos 20 % del valor de la componente simétrica.

Capacidad de interrupción de corriente asimétrica

Es el valor total de corriente de cortocircuito r.m.s. (I_t) en el instante de la separación del contacto, que el disyuntor debe interrumpir a un voltaje de operación y en secuencia nominal de operación especificados. La capacidad de interrupción de corriente asimétrica se determina a partir del valor nominal de corriente simétrica y la componente de corriente continua, expresado como el porcentaje del valor máximo de la corriente simétrica.

1.6. Equipos de Protección y Seccionamiento

El equipo de protección y seccionamiento debe brindar seguridad, confianza y estabilidad a todos los elementos del sistema y por consiguiente al servicio eléctrico, entre los principales elementos de protección se enlistan los siguientes:

1.6.1. Seccionadores y Seccionadores Fusibles

Seccionador

Es un dispositivo de maniobra capaz de interrumpir de forma visible la continuidad de un circuito, los seccionadores pueden ser maniobrables bajo tensión pero en general sin corriente ya que poseen una capacidad interruptiva casi nula.

Su empleo es necesario en los sistemas ya que debe existir seguridad en el aislamiento físico de los circuitos antes de realizar cualquier trabajo y para los cuales la presencia de interruptor n es suficiente para garantizar un aislamiento eléctrico.

Las cuchillas desconectoras en particular deben cumplir los siguientes requisitos:

- Garantizar un aislamiento dieléctricos tierra y sobre todo en la apertura. Por lo general se requiere entre puntos de apertura de la cuchilla un 15 o 20% de exceso en el nivel de aislamiento con relación al nivel de aislamiento a tierra.
- Conducir en forma continua la corriente nominal sin que exista una elevación de temperatura en las diferentes partes de la cuchilla y en particular en los contactos.
- Soportar por un tiempo especificado (generalmente 1 segundo) los efectos térmicos y dinámicos de las corrientes de corto circuito.
- Las maniobras de cierre y apertura se deben realizar con toda seguridad sin posibilidad de que se presenten falsos contactos o posiciones falsas aún en condiciones atmosféricas desfavorables como puede ser por ejemplo la presencia de hielo.

Las cuchillas desconectadoras o seccionadores pueden tener formas constructivas y características constructivas que tienen variantes en base a la tensión de aislamiento y a la corriente que deben conducir en condiciones normales, pudiéndose distinguir:

- *Cuchillas Unipolares.* En posición cerrada la navaja se encuentra insertada en un contacto que está a presión aprisionando fuertemente la navaja para garantizar un buen contacto eléctrico.
- *Cuchillas Tripolares.* Son básicamente el mismo tipo de cuchilla unipolar pero el mando es tal que se cierran las tres fases simultáneamente.
- *Cuchilla Unipolar de Rotación.* Pueden tener un perno controlado bien con interrupción doble o pueden existir de interrupción simple con columna central giratoria, son utilizadas por lo general en sistemas de alta tensión con corrientes de hasta 2000 amperios.
- *Cuchilla desconectadora tripolar giratoria.* Son básicamente iguales a las giratorias unipolares pero emplean un mando tripolar para accionamiento simultáneo.
- *Cuchillas desconectadoras de apertura vertical.* Estas cuchillas tienen un giro aproximado de 110° de la columna central del aislador; la apertura se realiza en dos tiempos por medio de un giro de 60° de la cuchilla de navaja que gira sobre su propio eje y un movimiento vertical de la otra navaja en forma propia. Para sistemas de 85 a 230 KV.
- *Cuchillas desconectadoras tipo Pantógrafo.* Generalmente son de tipo monopolar siendo su elemento de conexión del tipo pantógrafo de donde viene su nombre, el cierre del circuito se obtiene levantado el contacto móvil que se encuentra sobre el pantógrafo conectándose al contacto fijo que se monta sobre el cable de barras de la subestación, su empleo es importante en las subestaciones en donde se dispone de poco espacio para la subestación y por otro lado presentan la ventaja de que pueden ser inspeccionadas sin poner fuera de servicio esa parte de la instalación.

Seccionadores Fusible

Los seccionadores en principio, son elementos de operación sin carga para aislar partes de la red o transferir sectores.

En los sistemas de distribución se usan como elementos de protección por su bajo costo. Además deben estar correctamente seleccionados de manera que se fundan cuando la corriente sea superior al valor nominal, también lo suficientemente robustos para soportar la corriente máxima en condiciones normales de funcionamiento del circuito al cual protegen. Hay mucha variedad de fusibles y muchos de estos no tienen exactamente el mismo principio de funcionamiento, pero la variedad de estos está en dependencia del nivel de tensión, la aplicación y la importancia del elemento a proteger. Además se debe tomar en cuenta su característica de respuesta. Un fusible no tiene un tiempo único para su operación, por el contrario este depende del nivel de la corriente que lo atraviesa. Para corrientes mayores, mayores temperaturas y por tanto más rápida es la fusión de la lámina fusora y todo lo contrario ocurre para menores corrientes.

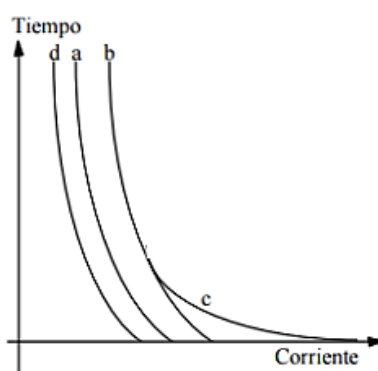


Figura 1 Características de operación de fusibles

Fuente: www.tecnoficio.com

- a) Curva de tiempo mínimo de fusión: Relaciona la corriente con el tiempo mínimo al cual el fusible se funde.

- b)** Curva de tiempo máximo de fusión o de aclaramiento: Se obtiene adicionando un margen de tolerancia (en corriente) a la curva *a*.
- c)** Curva de tiempo total para la extinción del arco: Se obtiene adicionando a la curva *b*, el tiempo necesario para la completa extinción del arco.
- d)** Curva tiempo-corriente de corta duración: Relaciona la corriente y el tiempo máximo permisible para que el fusible no quede debilitado en caso de sobrecargas de corta duración. Se obtiene estableciendo un margen debajo de la curva *a*.

Para Líneas o Ramales se usan preferentemente fusibles EEI-NEMA Tipos K y T (Concha)

Son fabricados en el diseño universal cabeza de botón y están disponibles en capacidades desde 6 hasta 200 amperes para la utilización en sistemas de distribución exterior hasta de 27KV. Las capacidades de corrientes preferidas según EEI – NEMA son 6, 10, 15, 25, 40, 65, 100, 140 y 200 amperes. Las capacidades intermedias o no preferidas, son 8, 12, 20, 30, 50 y 80 amperes.

Según las normas, las láminas fusibles EEI-NEMA están divididas en 2 tipos. El tipo “K” con características rápidas y el tipo “T” con características de retardo. Ambas laminas K y T de la misma capacidad tienen puntos idénticos de 300 y/o 600 segundos en la misma curva tiempo –corriente; así se manifiestan las mismas características de sobrecarga. Sin embargo, las curvas T – C son diferentes por debajo de estos puntos. La lamina K actúa de forma más rápida en casos de sobre corrientes que la lámina T del mismo tamaño. La distinción entre los dos tipos de láminas está basada en la relación de rapidez. Entre las corrientes de fusión a 0.1 segundos y 300 segundos para las láminas con capacidades hasta 100 amperes, y a 0.1 segundos y 600 segundos para láminas con capacidades mayores a 100 amperes. Las láminas tipo K (rápidas) tienen relaciones de rapidez entre 6 y 8.1 y las láminas del tipo T (lentas) tienen relaciones de rapidez entre 10 y 13.

Seccionalizadores

La incorporación de este tipo de dispositivos en alimentadores de distribución protegidos por interruptores o restauradores hace posible que las fallas puedan ser aisladas o seccionadas, confinando la zona del disturbio del alimentador a una mínima parte del circuito, y por tanto, afectar solamente a los usuarios conectados a esa derivación. El seccionalizador nunca debe ser instalado en las troncales o derivaciones importantes.

Se define a un seccionalizador como un dispositivo de apertura de un circuito que abre sus contactos automáticamente mientras el circuito está energizado por la operación de un interruptor o un restaurador. Debido a que este equipo no está diseñado para interrumpir corrientes de falla, se utiliza siempre en serie con un dispositivo de interrupción. Así mismo, como no interrumpe corrientes de falla no tiene características t-I, lo que constituye una de sus mayores ventajas y facilita su aplicación en los esquemas de protección. Un seccionalizador es un dispositivo de protección que aísla una sección de una línea de distribución donde ocurre una falla. Este es normalmente utilizado en conjunto con un reconectador ya que no tiene la capacidad de aislar la falla por sí solo.

Modos de operación del seccionalizador

El seccionalizador detecta la corriente que fluye en la línea y cuenta el número de veces que opera el dispositivo de interrupción cuando trata de aislar una falla:

1. Si la falla es despejada mientras el dispositivo de re-cierre que está abierto, el contador del seccionalizador se reseteará a su posición normal después de que el circuito es re cerrado, y queda preparado para iniciar nuevo conteos en caso de que ocurra otra falla.

2. Si la falla persiste cuando el circuito es re-cerrado, el contador de corrientes de falla en el seccionalizador, de nuevo se preparara para contar la próxima apertura del dispositivo de re-cierre.
3. Si el dispositivo de re-cierre es ajustado para ir a la posición lockout en la cuarta operación de disparo el seccionalizador se ajustara para disparar durante el tiempo de apertura del circuito después de la tercera operación de disparo del dispositivo de re-cierre.
4. Al contario de los fusibles tipo expulsión, un seccionalizador proporciona coordinación (Sin insertar una coordinación con curva t-l) con los dispositivos de respaldo asociados con las corrientes de falla muy altas y en consecuencia proporciona un punto de seccionamiento adicional en el circuito.
5. Los seccionalizadores no tienen una curva característica tiempo-corriente, por lo cual son usados entre dos dispositivos de protección que tienen curvas de operación que están muy juntas y donde un paso adicional de coordinación no es práctico.
6. Son comúnmente empleados sobre ramales donde las corrientes de falla elevadas son evitadas coordinando con fusibles.
7. Ya que los seccionalizadores no interrumpen corrientes de falla, también son usados en lugares donde las corrientes de fallas son elevadas y los restauradores pequeños no podrían se adecuados en términos de valores de su capacidad interruptiva. Por su capacidad de corriente de carga también sirve como un dispositivo seccionador económico.

Requerimientos para la aplicación de seccionalizadores.

1. Deben ser usados en aceite con otro dispositivo de protección pero no entre dos restauradores.
2. El dispositivo de protección de respaldo tiene que ser capaz de censar la corriente de falla mínima al final de la zona de protección del seccionalizador.

3. La corriente mínima de falla tiene que ser más grande que la corriente actuante mínima del seccionalizador.
4. Bajo ninguna circunstancia debe excederse los valores nominales momentáneos y de corto tiempo del seccionalizador. (Esteban, 2013)

Reconectores

Son equipos utilizados en alimentadores primarios de distribución, basados en que normalmente el 80 % de las fallas en redes aéreas de distribución son de naturaleza temporal, por lo que es conveniente restablecer el servicio en la forma más rápida posible para evitar interrupciones de largo tiempo. Para estos casos se requiere de un dispositivo que tenga la posibilidad de desconectar un circuito y conectarlo después de fracciones de segundo.

Los reconectores son dispositivos auto-controlados para interrumpir y cerrar automáticamente circuitos de corriente alterna con una secuencia determinada de aperturas y cierres seguidos de una operación final de cierre o apertura definitiva.

La mayoría de reconectores operan en una secuencia de 4 disparos y 3 re-cierres en un intento por despejar una falla persistente, hasta que finalmente cierran o abren sus contactos.

Hay dos curvas características tiempo vs corriente que se asocian a los reconectores. Las curvas son identificadas por letras, donde A es llamada curva rápida o instantánea, las curvas B, C, D son conocidas como retardadas. La secuencia de operación de una curva rápida y otra lenta se realizan de la manera siguiente: la rápida dispara para intentar despejar la falla temporal, los disparos retardados despejan fallas permanentes, o permiten que los equipos conectados aguas abajo lo hagan.

En caso de que la falla no fuera eliminada, entonces el reconectador opera manteniendo sus contactos abiertos. Los restauradores están diseñados para interrumpir en una sola fase o en tres fases simultáneamente.

Los siguientes requisitos son básicos para asegurar la efectiva operación de un reconectador:

1. La capacidad normal de interrupción del reconectador deberá ser igual o mayor de la máxima corriente de falla.
2. La capacidad normal de corriente constante del restaurador deberá ser igual o mayor que la máxima corriente de carga.
3. El mínimo valor de disparo seleccionado deberá permitir al restaurador ser sensible al cortocircuito que se presente en la zona que se desea proteger.

Los reconectores monofásicos tienen control hidráulico y los trifásicos pueden estar controlados hidráulicamente o electrónicamente. En los reconectores controlados electrónicamente se detectan las condiciones de sobrecorriente mediante transformadores de corriente que alimentan el circuito electrónico que controla las funciones de apertura y cierre del mecanismo del reconectador, al utilizar este control se tiene las siguientes ventajas.

- El dispositivo de control se adapta a diferentes tipos de reconectores.
- Facilita cambios en la característica de operación.
- Permite operación a distancia del reconectador.
- Diagnóstico adecuado y rápido de los daños en la operación del equipo.
- Facilidad para pruebas.

Disyuntores

Los disyuntores, son dispositivos que permiten desconectar carga de un alimentador primario de distribución en condiciones normales de operación o

con corrientes de cortocircuito, estos elementos para cumplir con su misión necesitan un medio de extinción del arco por ejemplo el SF₆.

El exafluoruro de azufre (SF₆) es usado como medio de extinción del arco eléctrico en disyuntores pues es un excepcional dieléctrico.

1.7. Software ETAP

Descripción (Universidad Don Bosco, 2009)

ETAP es una herramienta de análisis y control para el diseño, simulación y operación de sistemas de potencia eléctricos de generación, distribución e industriales. Es una herramienta integrada que ha sido diseñada y desarrollada por ingenieros para ingenieros que se desempeñen en las diversas disciplinas de los sistemas de potencia.

Esta herramienta dispone de una gran cantidad de módulos como son:

- Redes AC o DC.
- Tendido y rutado de cables.
- Redes de tierra.
- Coordinación y selectividad de protecciones.
- Diagramas de Control de Sistemas AC y DC.

Es una herramienta de análisis totalmente integrada utilizada por miles de ingenieros de diferentes compañías en todo el mundo para diseñar, mantener y operar sistemas eléctricos. Dentro del programa existe la opción de ETAP Real-time, la cual utiliza datos en tiempo real para realizar estudios de sistemas de potencia y evaluación de eventos.

Dentro de las empresas e industrias, los operadores y gerentes utilizan el ETAP para supervisar, controlar y optimizar, los sistemas de potencia propios de la actividad en la cual se desempeñan.

Paquetes para Coordinación de Protecciones (ETAP, 2010)

ETAP Star es un concepto avanzado para la realización de análisis de coordinación y selectividad de protecciones, tanto en régimen permanente como transitorio.

Esto se logra por la utilización de diagramas unifilares inteligentes, librerías de dispositivos de fácil manipulación y una base de datos integrada de tres dimensiones.

Diseñado y desarrollado por OTI, Star es un módulo totalmente integrado dentro del ETAP con el que se pueden realizar análisis completos, como corto circuito y arranque de motores.

Beneficios:

- Permite a los ingenieros realizar estudios de coordinación de protecciones de una manera fácil y eficiente.
- Provee información precisa y realista de las características de operación, tiempo y estado de los dispositivos de protección.
- Permite profundizar en el análisis de problemas no esperados como disparos falsos, fallas en la operación de Relés y falta de coordinación.
- Ayuda a los ingenieros y diseñadores a tomar decisiones rápidas y precisas con la mayor información.

Secuencias de Operación:

Con el ETAP Star usted no sólo puede trabajar con las curvas de Corriente vs. Tiempo, sino que también puede determinar el momento de operación de un dispositivo con solamente indicar el punto de falta en el diagrama unifilar.

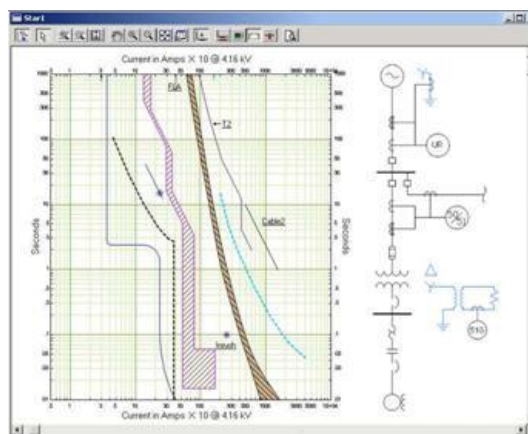


Figura 2 Curvas de Tiempo vs Corriente

Fuente: ETAP Solución Empresarial, http://etapven.com/selectividad_star.htm

Características Principales de las Secuencias de Operación

- Presentación gráfica de faltas trifásicas o fallas a tierra.
- Presentación de las Intensidades en el diagrama unifilar.
- Presentación de la Coordinación Global del Sistema.
- Visualización de las Tablas de Respuesta en Función del Tiempo.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
30	Relay2	0.546	30		Phase - OC1
119.6	OCR4	5.629	119.6		Phase - OC1
130	CB12		100		Tripped by Relay2 P...
219.6	CB12		100		Tripped by OCR4 P...
239.6	CB11		120		Tripped by OCR4 P...
253.2	Fuse1	2.309	170.1	253.2	
696	OCR3	2.309	696		Phase - OC1
779.3	CB2		83.3		Tripped by OCR3 P...
4500	MR1	0.566	4500		Overload Phase
4600	CB21		100		Tripped by MR1 Ov...

Figura 3 Secuencia de Operación de Dispositivos

Fuente: ETAP Solución Empresarial, http://etapven.com/selectividad_star.htm

Coordine desde el Diagrama Unifilar

- Coloque una falta de manera gráfica en el diagrama unifilar

- Automáticamente calcula y presenta las contribuciones a la corriente de falta en el diagrama unifilar.
- Determine el tiempo de operación y el estado de todos los dispositivos de protección en función de la intensidad de falta que fluye por cada dispositivo de protección.
- Compruebe las acciones asociadas y tiempos de operación luego de la falta con la información tabulada en el visualizador de eventos.
- Examine gráficamente la operación de los dispositivos de protección en el diagrama unifilar.

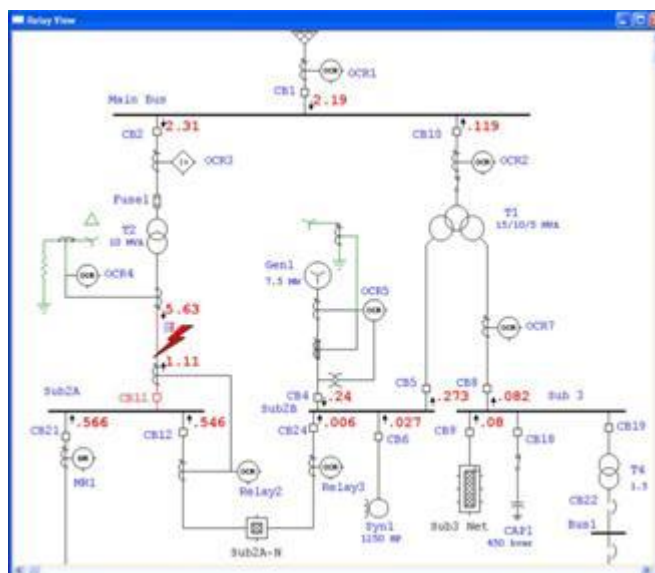


Figura 4 Gráfica de la ubicación de una falta/falla en el sistema directamente en su diagrama unifilar

Fuente: ETAP Solución Empresarial, http://etapven.com/selectividad_star.htm

Características Principales

- Configuración de dispositivos ajustable en forma gráfica y sencilla

- Verificación de la secuencia de operación de dispositivos
- Módulos de análisis incorporados
- Librería de dispositivos validada y verificada.
- Relés Multi-función y Multi-nivel.
- Interfase incorporada con Hardware de calibración para Relés.
- Presentación Gráfica de la respuesta Transitoria de Relés.
- Librería y Base de Datos modificable y actualizable por el Usuario.

Características:

- Presentación de la coordinación global del sistema.
- Dibujo automático del diagrama unifilar en la vista de curvas intensidad vs. Tiempo.
- Haga clic y arrastre curvas para ajustar la configuración.
- Modos de coordinación de Fases y Tierra.
- Escalamiento automático de corriente y voltaje.
- Análisis de corto circuito integrado con los dispositivos de protección.
- Curvas de arranque de motores basadas en estudios de aceleración de motores.
- Enclavamientos de los Relés fácilmente configurables.
- Opciones de presentación definibles por el usuario.
- Calculadora gráfica de las diferencias de tiempos de actuación.

- Modelado de curvas por Punto Fijo/Daño.
- Impresión de reportes, gráficos y curvas de operación.
- Funciones de impresión sencillas para incluir leyendas, etiquetas, etc.
- Reportes Configurables.

Extensa Librería de Dispositivos de Protección

- La información más actualizada y fácil de entender de los dispositivos de protección.
- Librerías validadas y verificadas con la información publicada de los fabricantes.
- Librería fácilmente actualizable por el usuario para crear y añadir dispositivos nuevos.
- Curvas de operación de Relés basadas en información digitalizada por puntos y ecuaciones.
- Modelado real de dispositivo de protección.
- Librería con dispositivos antiguos y de última generación.
- Librería con registro de edición y verificación.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

La finalidad de un estudio de coordinación de protecciones es determinar las características, rangos y magnitudes de calibración de los equipos de protección que aseguren la mejor cantidad de carga interrumpida cuando los equipos de protección y seccionamiento aíslan una falla o sobrecarga en cualquier parte del sistema. Un estudio de coordinación debe proveer seguridad contra diferentes condiciones anormales en la operación de un sistema de distribución.

2.1. Filosofía de la Coordinación de Equipos de Protección

Los sistemas eléctricos están expuestos a diferentes contingencias (condiciones anormales de operación) tales como sobretensiones debidas a descargas atmosféricas, sobretensiones por maniobras (desconexión o conexión) de interruptores en las redes, pérdidas de carga, efecto ferranti, etc. Y a otro tipo de fallas que pueden tener su origen en las anteriores como son los cortocircuitos en los distintos puntos de las instalaciones.

Con el objeto de proteger al personal y a los equipos mismos, se deben de adoptar medidas para evitar en lo posible los accidentes o pérdidas de suministro de la energía, según sea el caso. Estas medidas de protección forman parte del diseño o proyecto de los sistemas e instalaciones eléctricas y cubren una gama muy amplia en posibilidades por lo que es necesario establecer diferencias básicas y que se pueden agrupar como:

- Protección contra sobretensiones de origen atmosférico o por maniobra de interruptores.
- Protección contra fallas internas en las instalaciones y que son básicamente cortocircuitos o condiciones anormales de operación del sistema; este tipo de protección se le conoce como protección por relevadores (relés). (Harper, 2da Edición)

2.2. Coordinación de Protecciones

En los sistemas de distribución actuales, la coordinación de los dispositivos de protección debe hacerse en serie; también se le conoce como "cascada", debido a la que la mayoría de estos operan en forma radial. Cuando dos o más dispositivos de protección son aplicados en un sistema, el dispositivo más cercano a la falla del lado de alimentación es el dispositivo protector, y el siguiente más cercano del lado de la alimentación es el dispositivo "respaldo" o protegido. El requerimiento indispensable para una adecuada coordinación consiste en que el dispositivo protector debe operar y despejar la sobrecorriente antes que el dispositivo de respaldo se funda (fusible) u opere al bloqueo (restaurador).

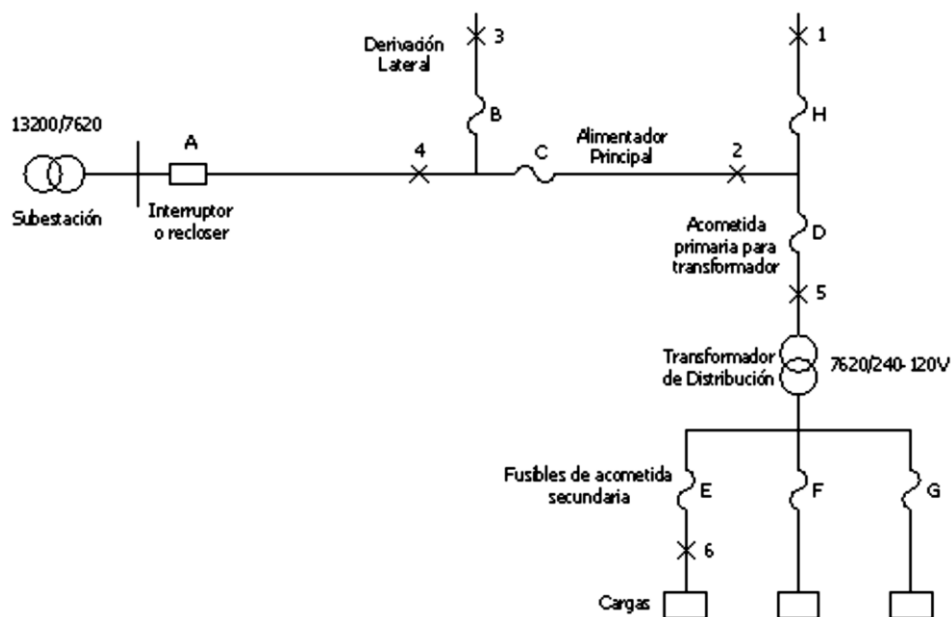


Figura 5 Coordinación de protecciones

Fuente: Protección de Sistemas Eléctricos, Samuel Ramírez Castaño,
Universidad Nacional de Colombia Manizales

Cuando hay una falla en el punto 1, el fusible H es el dispositivo protector y el dispositivo C el de respaldo. Con respecto al dispositivo A, el dispositivo C es el dispositivo protector y debe interrumpir corrientes de falla permanente en el

punto 2 antes que el dispositivo A opere a bloqueo. El dispositivo B es también un dispositivo protector para dispositivo A y opera en forma similar al dispositivo C para una falla en el punto 3.

El dispositivo A opera a bloqueo solamente con fallas permanentes antes que los dispositivos B y C, como en el punto 4. Para una falla en el punto 6, el dispositivo E debe operar antes que el dispositivo D, previniendo con esto que el transformador salga de servicio, y con él el suministro de energía a las otras cargas en el secundario transformador; igualmente, para una falla en el punto 5 el fusible D es el protector. Los cortes de energía causados por fallas permanentes se deben restringir a secciones pequeñas del sistema por tiempo más corto.

Tabla 2

Criterios de protecciones

Fuente: Enríquez Harper, Diseño de elementos de subestaciones, Segunda Edición.

Criterio	Criterio de operación	Falla, Perturbación	Protección del equipo
Corriente	Sobrecorriente	Sobrecarga de cortocircuito	Protección de Sobrecorriente para líneas, transformadores, motores y generadores.
	Diferencial de corriente	Cortocircuito	Protección diferencial para líneas, transformadores y generadores.
Voltaje	Incremento de Voltaje	Deslaste de carga	Protección de Sobre voltaje para líneas,

CONTINÚA



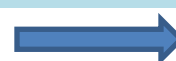
			transformadores y generadores.
	Voltaje de Neutro	Falla a tierra	Protección de falla a tierra para líneas, transformadores y generadores.
	Caída de Voltaje	Cortocircuito en el arranque del motor	Protección de bajo voltaje para motores y generadores.
Impedancia	Baja impedancia	Cortocircuito	Protección contra Alta-Impedancia en barras
	Proporción R/X	Cortocircuito	Protección de distancia para líneas, transformadores y generadores.
Potencia	Dirección del flujo de Potencia	Cortocircuito	Protección de sobrecorriente direccional de líneas.
			Potencia inversa de generadores
	Potencia Activa en su componente de secuencia cero	Falla a tierra	Protección de Falla a tierra de líneas
Frecuencia	Cambio en la Frecuencia	Cortocircuito	Protección de generadores.
		Pérdida de carga	Tarea general de protección del sistema
		Incremento de Carga	
	Sobre y baja	Pérdida de	Protección de

CONTINÚA



	Frecuencia	carga	generadores.
		Incremento de Carga	Tarea general de protección del sistema
Ángulo de fase	Cambio del ángulo de fase	Cortocircuito	Vector relé de generadores
Armonios y Frecuencias Altas		Electrónica de potencia	Protección de capacitores
		Cortocircuito	Estabilización inmediata
		Falla a tierra	Protección contra falla de puesta a tierra
Temperatura	Incremento o decremento de temperatura	Sobrecarga de cortocircuito	Protección de sobrecarga de transformadores y cables.
Arco Eléctrico	Radiación	Cortocircuito	Protección para cubículos y habitaciones del switchgear.
Presión	Alta presión	Cortocircuito	Protección para cubículos y habitaciones del switchgear.
	Baja presión	Fuga	Protección aisladas en gas para cables y switchgear
Velocidad	Cambio del flujo de aceite en transformadores	Sobrecarga	Protección Aceite-corriente de los transformadores (interruptor de presión
		Cortocircuito	

CONTINÚA



			o Buchholz)
Volumen	Decremento	Fuga	Protección del equipo con aislamiento en aceite

2.2.1. Coordinación Fusible – Fusible (Castaño, Protección de Sistemas Eléctricos, 2003)

Para el caso de seccionadores fusibles conectados en serie, existen tres métodos, los cuales pueden ser utilizados para llevar a cabo su coordinación, estos son: usando curvas tiempo corriente y usando tablas de coordinación de los tipos de fusibles. Las tablas de coordinación son basadas en datos obtenidos de las curvas, y estas proporcionan los mismos resultados en la coordinación con menos trabajo.

Coordinación mediante curvas Tiempo – Corriente

Es un método muy práctico para coordinación de fusibles tipo H, N, T o K. Un estudio típico se muestra de la figura 2.2 para parte de un sistema de distribución. Se usarán fusibles de estaño tipo T en todos los dispositivos de protección.

La figura 2.3 muestra las curvas de tiempo de fusión mínima y tiempo de despeje máximo para posibles fusibles que pueden ser usados en los puntos A, B y C del sistema.

El fusible 15T para 23 A (Tabla 2.2) hará frente a una corriente de carga de 21 A y provee un tiempo despeje máximo de 0.021 s para 1550 en el punto C (Figura 2.3). El tiempo de fusión mínima no es un factor crítico si otros dispositivos no necesitan ser coordinados con el último fusible de la rama.

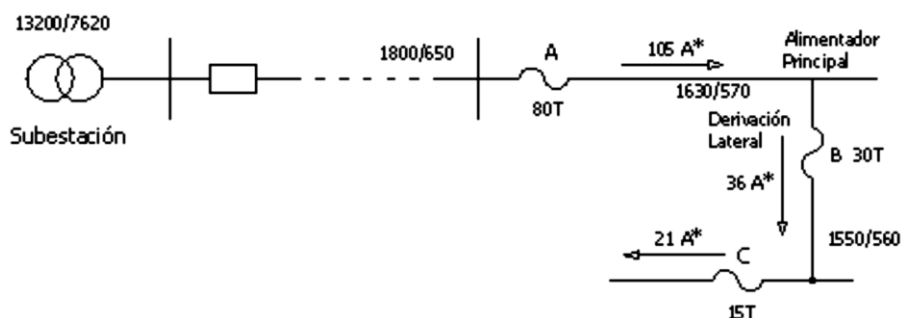


Figura 6 Coordinación fusible – fusible

Fuente: Protección de Sistemas Eléctricos, Samuel Ramírez Castaño, Universidad Nacional de Colombia Manizales

Aparece ahora con un nuevo fusible que llevará 36 A continuos de carga, interrumpiendo 1630 A en el punto B y coordinado con el fusible 15T. El fusible 20T no sirve puesto que puede transportar sólo 30 A (Ver Tabla 2.3). El siguiente fusible a seleccionar el 25T que puede llevar 38 A (Ver Tabla 2.3) continuamente, pero para el fusible 25T el tiempo mínimo de fusión es de 0.016 s a 1550 A. Puesto que el fusible 25T se quema antes de que el fusible 15T despeje la falla, la combinación no sirve para coordinación. El tiempo mínimo de fusión del fusible 30T a 1550 A es de 0.031 s. Para obtener buena coordinación se de cumplir que la relación:

$$\frac{\text{Tiempo de despeje máximo del fusible protector}}{\text{Tiempo de Fusión mínima del fusible protegido}} \times 100 < 75\% \quad (\text{EC 2.1})$$

Si resulta ser menor al 75% que es el máximo para coordinación (no cumple).

Un fusible 80T interrumpirá satisfactoriamente 1800 A, transportando 105 A continuamente y coordinado con el fusible 30T en el punto B (Ver Tabla 2.3), por lo tanto:

$$\frac{\text{Tiempo de despeje máximo para 30T}}{\text{Tiempo de Fusión mínima para 80T}} \times 100 = \frac{0.051}{0.16} \times 100 = 32\%$$

Este valor resulta ser menor del 75% y la coordinación es satisfactoria. Los resultados de este estudio se expondrán en la Tabla 2.3.

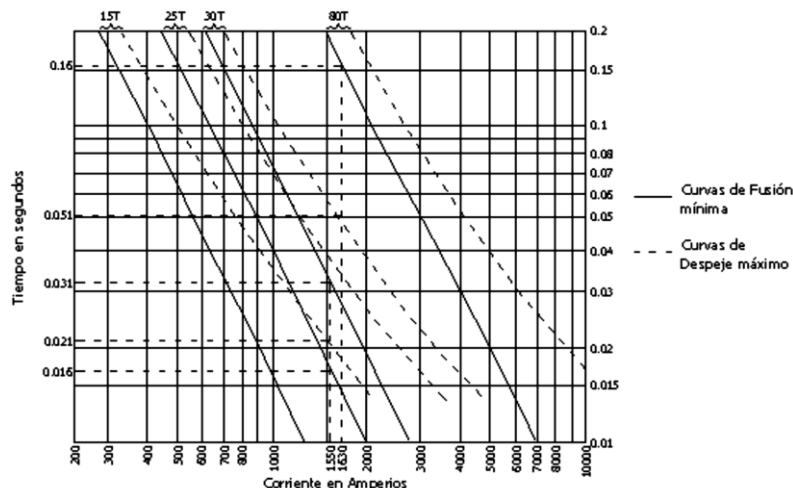


Figura 7 Curvas T-I para coordinación del circuito dado en la figura 6.

Fuente: Protección de Sistemas Eléctricos, Samuel Ramírez Castaño,
Universidad Nacional de Colombia Manizales

Tabla 3

Resultados del estudio de coordinación.

Fuente: Protección de Sistemas Eléctricos, Samuel Ramírez Castaño,
Universidad Nacional de Colombia Manizales

Localización del fusible Protegido	Fusible Protegido	Fusible Protector	Corriente Máx. de Falla	Corriente de Carga	Tiempo de despeje máx. del fusible de protección	Tiempo de fusión mínimo del fusible Protegido	Porcentaje CT/MT
C	15T			21			
*B	25T	15T	1550	36	0.021	0.0165	1128 (0.021/0.01651)
B	30T	15T	1550	36	0.021	0.031	68 (0.021/0.031)

CONTINÚA



A	80T	30T	1630	105	0.051	0.160	32 (0.0511/0.16 01)
----------	-----	-----	------	-----	-------	-------	---------------------------

* No hay coordinación para la combinación 25T - 15T.

Coordinación mediante Tablas

Un método más conveniente para la coordinación de seccionadores fusible es mediante el uso de tablas de coordinación. El uso de tablas de coordinación requiere que los fusibles estén operando dentro de su capacidad continua de corriente y sean usados dentro de un seccionamiento adecuadamente seleccionado.

Las Tablas A1 hasta A2 listan los fusibles de protección, los fusibles protegidos y la corriente máxima de falla a la cual la protección es asegurada. (Ver ANEXO 1.2)

Repitiendo el ejemplo anterior de coordinación usando la Tabla A1, ANEXO 1.2: Para el fusible de protección 15T el fusible protegido 25T sólo coordina por encima de 730 A (no sirve). La Tabla A1, ANEXO 1.2 muestra que fusible 15T coordinará bien con fusible 30T por encima de 1700 A (mayor a 1630 A) con una corriente de transporte de 45 A según Tabla A2, ANEXO 1.2 (mayor a 36 A de corriente de carga). La Tabla A1, ANEXO 1.2 también muestra que el fusible 30T (como fusible de protección) se coordina con el fusible 80T (como fusible protegido) por encima de 5000 A (mayor a 1800 A) y una corriente de transporte continua de 110 A (Tabla A1, ANEXO 1.2) mayor a 105 A de corriente de carga. Observe en la Tabla A1, ANEXO 1.2 que el fusible 65T no se coordina con 30T puesto que la corriente de transporte continua es de 95 A menor a 105 A de corriente de carga. Las Tablas A1 hasta la tabla A4 muestran los valores máximos de las corrientes de falla a las cuales los fusibles EEI, NEMA se coordinan (K con K, T con T, K con H, T con H y N con N). Estas tablas están basadas en las curvas de tiempo de despeje máximo para los

fusibles de protección y el 75% de las curvas de tiempo fusión mínima para los fusibles protegidos.

2.2.2. Coordinación Reconectador – Fusible

Un reconectador además de hacer que las líneas se reconecten luego de una desconexión tiene la obligación de hacer lo suficientemente rápido y eficaz como para que no se fundan los fusibles producto a las fallas transitorias. Para lograr esto, deben actuar con un tiempo de respuesta antes de los fusibles, sino la avería provocará una falla permanente. Pero si la falla es permanente, este reconectador debe permitir que el fusible se funda y elimine la avería. Para lograr esto el reconectador debe ser más lento que el fusible.

Para lograr ser más lento (cuesta lenta) y al mismo tiempo más rápido (curva rápida) que el fusible, el reconectador tiene que comportarse de manera diferente por cada reconexión. Esto lo logra con un juego de curvas rápidas y lentas que posee.

2.2.3. Coordinación Relé – Reconectador (Eduardo, 2011)

Cuando en una subestación de distribución, la salida se realiza con disyuntor comandados por relés, y se tiene reconectores en el troncal o en arranques importantes la coordinación estará dada entre el relé que comanda al disyuntor y el reconectador. El reconectador debería actuar cuantas veces sean necesarias pero el relé no deberá llegar a completar su ciclo de actuación. La secuencia acumulada de operaciones del recloser debe ser menor que la curva característica del tiempo – corriente del relé, este rango de coordinación está limitado por los relés con curvas extremadamente inversas.

2.2.4. Coordinación Reconectador – Seccionalizador (Eduardo, 2011)

Para coordinar un reconectador con un seccionalizador no se requiere hacer análisis de curvas tiempo – corriente debido que el seccionalizador no tiene

este tipo de curvas; solo cuenta con pulsos de corriente de falla y se ajusta para que se desconecte luego de un determinado número de pulsos.

2.3. Análisis de Confiabilidad para el Alimentador en Estudio (CONELEC, 2001)

Para evaluar el funcionamiento actual o futuro de un sistema se puede realizar mediante la obtención de parámetros cuantitativos que puedan representar su desempeño, basándose en su ex comportamiento. Estos índices o parámetros ayudarán de mucho para escoger las mejores alternativas para su modificación, y con esto el funcionamiento sea el más adecuado.

La confiabilidad representa la evaluación del funcionamiento de un sistema, que puede ser expresada a través de índices que determinarán la calidad del servicio que una Empresa distribuidora brinda a sus usuarios, partiendo del análisis de los registros de eventos pasados archivados por la Empresa.

2.4. Indicador referido a la Demanda Interrumpida (Eduardo, 2011)

Energía no suministrada (ENS): es la cantidad de energía no suministrada que la empresa Eléctrica deja de vender. Se define utilizando la siguiente expresión:

$$ENS = \sum L_{ai} D_i \quad (EC 2.2)$$

En donde:

D_i = Duración total de la interrupción en el nodo i en el período considerado

L_{ai} = E_{di}/t Carga media del nodo i

E_{di} = Energía total demandada en el nodo i en el periodo t .

2.4.1. Determinación de Estados (Eduardo, 2011)

Para determinar la frecuencia y duración de fallas en los distintos tramos, así como otros índices de confiabilidad, es necesario analizar el comportamiento de la red ante las diversas contingencias a que puede verse sometido cada uno de sus componentes.

Las características de los tramos de los alimentadores y los equipos de protección están dadas mediante los siguientes indicadores.

Tiempo de Interrupción

El tiempo total de interrupción de un tramo depende de la clase de protección asociada y del tipo de trabajo que se debe realizar para restablecer el servicio eléctrico (maniobras de transferencia, reparaciones, recambios, limpieza, etc.).

Se denomina tiempo total de interrupción del servicio eléctrico, al periodo transcurrido desde la desconexión del circuito, hasta la re-energización del mismo.

El tiempo que tarda el restablecimiento del servicio eléctrico depende del tipo de falla y de los equipos presentes en el sistema. En general, se tendrá para una red de distribución cualquiera, la siguiente clasificación de tiempos:

Tiempo para el conocimiento de la Falla (T_c)

Es el intervalo entre el instante en que ocurre la falla y el momento en que los operadores del sistema eléctrico toman conocimiento de ella. La automatización juega aquí un importante papel, puesto que si existe señalización del estado de las protecciones (por ejemplo en un panel), la magnitud de este tiempo es muy pequeña, de manera que teóricamente puede considerarse cero.

Tiempo de Preparación (Tp)

Corresponde al tiempo requerido para la obtención de los recursos materiales necesarios para dar inicio a los trabajos de localización de la falla.

Tiempo de Localización (Tl)

Es el tiempo que se gasta en el traslado hasta las proximidades de la falla y la ejecución de pruebas con la finalidad de localizar en forma precisa el punto de falla.

Tiempo de maniobra para la Transferencia (Tt)

Es el tiempo que toma realizar las maniobras de transferencia para restablecer el servicio a los tramos en donde ello sea posible.

Tiempo de Maniobra para establecer la Configuración Normal de Operación (Tv)

Es el intervalo que tarda en recuperar la configuración normal de operación, una vez ejecutadas las tareas de reparación.

Sobre la cuantificación de cada uno de los tiempos mencionados, existe mayor dominio por parte de las empresas de distribución, puesto que ello constituye una práctica normal.

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN DEL ALIMENTADOR 01 EN LA S/E “EL CALVARIO”

3.1. Situación actual del Alimentador 01 de la Subestación

Esta área de estudio corresponde a la identificación de cada uno de los elementos que forman parte del sistema de distribución en estudio partiendo así desde la subestación pasando por sus respectivas líneas de distribución tomando también en cuenta sus centrales de generación y las concentraciones de cargas, es importante la recopilación de información de cada uno de los parámetros de cada elemento para la modelación del sistema, mismos que propiciamente fueron entregados por la empresa.

De este modo, la situación actual del sistema que compone al Alimentador Primario 01 Oriental de la Subestación El Calvario respecto de su configuración establecida es de la siguiente manera:

El sistema oriental tiene una demanda de 2,09 MW

En tanto que a generación la S/E recibe su suministro de energía eléctrica de las centrales Hidroeléctricas Illuchi I e Illuchi II, así como también por la conexión con el Sistema Nacional Interconectado.

Las redes de distribución tienen un nivel de voltaje de 13,8 kV, debido al nivel de voltaje de operación se considera tan solo como líneas de media tensión.

El alimentador Oriental tiene una extensión de 100 Km de red, que se encuentra dividido en 19,6 Km de red trifásica y 80,4 km de red monofásica, los sectores dotados de servicio eléctrico son Urbanizaciones Alsacia, Gualundum, Locoá, PROVIDA.

Los sectores rurales son: Santán, Locoá Santa Marianita, Pusuchisi, Zaragosín, Salbiapamba, Toavilli, Palopo, Palopo Mirador, Jilingua Chico, Culaguango – Sector San Francisco. Colegio “Luis Fernando Ruiz” – Colegio Técnico “Trajano Naranjo”, bodega ELEPCO S.A. Culaguango, Quinta del Centro Agrícola. Transmisores: Radio Latacunga FM (Putzalahua), Radio Bandida (Putzalahua), Color Estéreo (Putzalahua), Hechizo (Putzalahua), MOVISTAR-Ex Belth South(Putzalahua), Radio Elite (Putzalahua), Celular Power (Putzalahua), Radio Amiga (Putzalahua), Radio Once de Noviembre (Pusuchisí y Putzalahua), Radio Novedades (Santán La Vicentina), Radio Cotopaxi O R C (Gualundúm). En el diagrama geo referenciado ANEXO 2.1, se puede observar la cartografía de la red, del alimentador Oriental.

3.1.1. Diagrama Unifilar de la Subestación

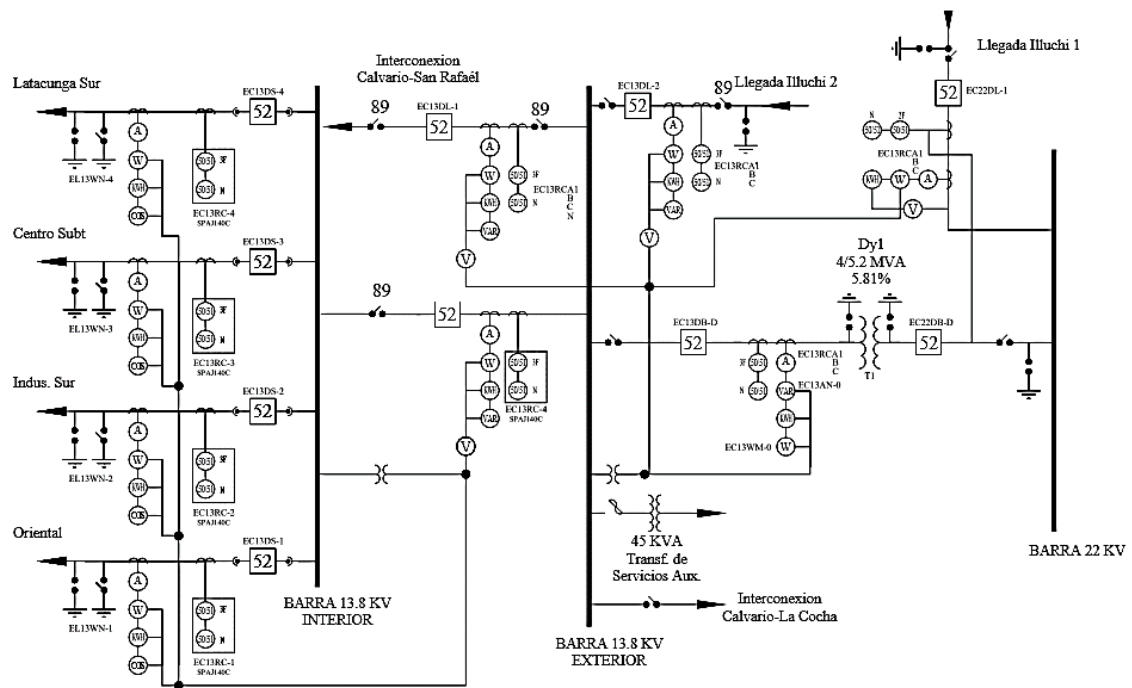


Figura 8 Diagrama Unifilar S/E “El Clavario”

Fuente: Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi

3.2. Levantamiento de Sitio

En esta etapa se procede a la simulación del sistema actual en un diagrama unifilar completo del alimentador en estudio con los datos suministrados.

El alimentador en estudio está protegido actualmente desde la subestación por un disyuntor cuyo funcionamiento depende del estado del relé de protección de sobrecorriente de fases y de neutro anclado a este, cabe destacar que los relés son con reenganche, pero debido a que el centro de transformación de potencia es ya obsoleto han quedado bajo la misma consideración.

También se puede observar como a lo largo de los ramales los diferentes seccionadores tipo barra, que no cumplen a cabalidad con su misión, sujetos a estos en diferentes sectores del alimentador se pudo observar tirafusibles instalados y comprobando sus respectivas configuraciones con los datos suministrados por la Empresa Eléctrica específicamente el Departamento de Planificación, se ha constatado que la mayoría de las fallas se deben a que todos los dispositivos actualmente instalados no están cumpliendo con su trabajo.

3.2.1. Características Técnicas de los Elementos de Protección

En la subestación El Calvario se tiene relés de sobrecorriente electromecánicos ubicados al inicio del alimentador, mismo que actualmente no posee reconectores instalados que estén operativos, debido a esto la protección se realiza mediante seccionadores fusible que protegen a los transformadores y a las líneas de distribución en sitios que han dejado de ser estratégicos, más aun si se considera a futuro el incremento de la carga al instalar las cocinas de inducción y las duchas eléctricas en cada domicilio, quedando así un gran margen de debilidad en las protecciones frente a cualquier tipo de falla eléctrica que pueda suscitarse en el alimentador.

Los datos que han sido proporcionados por la Empresa Eléctrica han sido tabulados y presentados de la siguiente manera:

Tabla 4

Elementos de protección instalados en el Alimentador estudiado

Fuente: Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi

Nº ID	ACTIVO	TIPO	FASE CONEXION	VOLTAJE [V]
1005	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
1007	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
1008	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
2245	Si	Secc.Fusib. de Línea	C	7960
2568	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	7960
2569	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	7960
2886	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
2887	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	13800
2888	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
2889	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
2890	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
2891	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
3525	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	13800
3532	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
3533	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
3885	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
3887	Si	Secc.Fusib. de Línea	ABC	7960
3888	Si	Secc.Fusib. de Trafo	C	
4162	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
4163	Si	Secc.Fusib. de Línea	B	7960
4174	Si	Secc.Fusib. de Línea	A	7960
4485	Si	Secc.Fusib. de Línea	A	7960
4496	Si	Secc.Fusib. de Línea	C	7960
4801	Si	Secc.Fusib. de Línea	C	7960
4802	Si	Secc.Fusib. de Línea	C	7960
4817	Si	Secc.Fusib. de Trafo	C	7960
4818	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	13800
4819	Si	Secc.Fusib. de Trafo	C	7960
4820	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
4821	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
4833	Si	Secc.Fusib. de Línea	C	7960
4835	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	13800

CONTINÚA



4836	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
4837	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
4838	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
4839	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
5458	Si	Secc.Fusib. de Línea	C	7960
5459	Si	Secc.Fusib. de Línea	C	7960
7741	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	13800
60161	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	13800
67951	Si	Secc.Fusib. de Línea	A	7960
67952	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
68161	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
68162	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
68163	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
68164	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
71369	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	13800
76484	Si	Secc.Fusib. de Línea	B	13800

3.2.2. Localización de Equipos de Protección

Desde la Empresa Eléctrica y por medio del departamento de planificación se extrajo la sección del circuito perteneciente al Alimentador Primario 01 Occidental de la subestación El Clavario en un plano geo referenciado desde el cual se llevó al modelamiento en un diagrama unifilar mediante el Software ETAP.

Siguiendo el esquema de la figura 3.2 se han tomado los 189 transformadores que conforman el alimentador primario occidental, una vez identificados se modelaron también los 48 seccionadores fusible que protegen el sistema eléctrico y sus respectivos conductores que van de troncal a ramal respetando las distancias reales tomadas desde el mapa georreferenciado.

Identificado de esta manera los elementos como se mostraron en la tabla 3.1 con los diferentes elementos distribuidos a través de aproximadamente 100 Km de red.

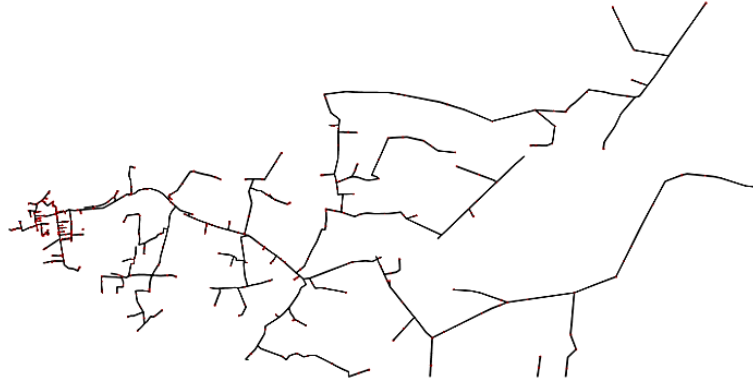


Figura 9 Mapa geo referenciado del Alimentador (ver ANEXO 2.1)

Fuente: Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi

3.2.3. Descripción del Área Problemática

Con el fin de reducir la zona afectada por regímenes anormales en la red, la duración de las interrupciones provocadas por las mismas y proteger equipos instalados de alto valor económico. Se instalarán nuevos dispositivos de protección en puntos de la red en donde se creará conveniente, además se retirarán otros equipos cuya ubicación no sea la apropiada, para luego realizar una nueva coordinación entre ellos y con el relé que controla el disyuntor de la cabecera del alimentador ubicado en la sub estación.

3.2.4. Levantamiento de Datos y Análisis de los Parámetros de Campo

El alimentador seleccionado para el estudio es de tipo rural-urbano marginal de topología radial. Tiene un área de concesión aproximada de 300 km² que abastece de servicio eléctrico a las Parroquias Juan Montalvo, Sector Putzalahua y parte de la Parroquia Ignacio Flores. La carga que alimenta en su mayoría es residencial así como también pequeñas cargas industrias y de talleres, datos visibles en el ANEXO 3.1

Características:

- Nivel de voltaje: 13.8 KV Trifásicos y 7.96 KV Monofásicos.

- Longitud Aproximada total: 100 Km.
- Carga instalada: 2,09 MVA.
- Centros de transformación: Tipo convencional y auto protegido.
- Seccionadores: De cámara de extinción y tira fusibles.
- Es un alimentador aéreo en su totalidad por lo cual la disposición de los conductores se realiza conformé a las guías de ELEPCO S.A. mismas que se puede encontrar en su catálogo digital, en el cual consta con estructuras para redes trifásicas LCP, LCR, LVP, y LVR y para redes monofásicas RUP, RUR.
- La mampostería comprende postes de 11 metros de altura (Hormigón, madera y hierro).

Además dependiendo del tipo de carga por suministrar en los parámetros de línea se involucran.

- Calibre de los conductores,
- Material de los conductores,
- Número de conductores por circuitos, mismos que se ubican a lo largo del diagrama unifilar modelado en el paquete computacional.

3.2.5. Configuración actual del Sistema de Protecciones.

El esquema actual en que están ubicadas y dimensionadas las protecciones ha quedado obsoleto ya que con el paso del tiempo la demografía de la zona ha incrementado en gran manera por esta razón se encontró que los dos reconectores que habían estado en funcionamiento durante años han actuado ante varias fallas hasta que finalmente estas mermaron su vida útil, sin mencionar la nula coordinación de protecciones que se encuentra entre fusibles.

Muchos de los transformadores instalados no tiene protección y el ramal principal no tiene sus protecciones en una ubicación estratégica.

Se presenta entonces un resumen del estado actual:

Protección para transformadores: Se enlistan en la tabla 5 los transformadores instalados en el alimentador oriental de la salida de la subestación El Calvario.

Tabla 5

Transformadores pertenecientes al alimentador en estudio

Fuente: Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi

CODIGO TRAF0	VOLTAJE	POTENCIA [KVA]
4200	7960	15
5930	13800	50
5869	7960	25
5304	7960	37,5
147	7960	15
4196	7960	10
5305	7960	37,5
6858	7960	25
6394	7960	37,5
6504	7960	37,5
4197	7960	15
5130	7960	10
5496	7960	10
5997	7960	15
5575	7960	50
7593	7960	15
221	7960	25
6248	7960	25
7636	7960	37,5
7278	7960	37,5
223	7960	50
224	7960	25
1299	7960	35
6045	7960	15
6877	7960	25
222	7960	10
4198	7960	25
5324	7960	25
5366	7960	10
5825	7960	25

CONTINÚA



6374	7960	10
7690	7960	25
7286	7960	50
7993	7960	37,5
8400	7960	25
665	7960	375
152	7960	50
247	7960	37,5
7285	7960	37,5
7692	7960	10
2693	7960	50
153	7960	50
6341	7960	37,5
5256	7960	15
5286	7960	25
8399	7960	37,5
7509	13800	75
5561	13800	30
1239	7960	37,5
8340	7960	25
6116	7960	25
6699	7960	10
790	13800	60
157	7960	10
8818	7960	375
6306	13800	50
8380	7960	25
7403	7960	5
160	7960	10
4201	7960	37,5
5570	7960	5
6468	7960	5
208	7960	10
207	7960	10
209	7960	15
206	7960	10
5221	7960	15
205	7960	37,5
5649	7960	15
4213	7960	15

CONTINÚA



5635	7960	25
188	7960	10
187	7960	25
8248	7960	10
8251	7960	10
8250	7960	10
7985	7960	50
8249	7960	10
8164	7960	5
8165	7960	5
4205	7960	5
4206	7960	5
7293	7960	5
4207	7960	10
4208	7960	10
5476	7960	10
8160	7960	10
5845	7960	5
5744	7960	10
4219	7960	25
6332	7960	15
7241	7960	10
862	7960	5
1379	7960	15
180	7960	10
156	7960	25
186	7960	10
4210	7960	10
5763	7960	15
7978	7960	5
937	7960	10
184	7960	10
6264	7960	15
5970	7960	15
178	7960	15
931	7960	10
7972	7960	10
4253	7960	10
7974	7960	10
5656	7960	25

CONTINÚA



170	7960	15
5045	7960	25
1776	7960	10
2489	7960	25
8509	7960	15
5797	7960	37,5
7870	7960	10
7835	7960	5
7843	7960	5
191	7960	10
190	7960	15
4218	13800	50
7842	7960	5
6250	7960	25
161	7960	10
7152	7960	10
164	7960	10
163	7960	15
5149	7960	10
203	7960	25
165	7960	10
4212	13800	30
4211	7960	10
5028	7960	15
5515	7960	10
177	7960	15
175	7960	25
241	7960	15
8579	7960	25
8534	7960	10
8549	7960	10
8567	7960	15
1369	7960	5
5508	7960	15
6682	7960	10
5767	7960	25
7155	13800	75
162	7960	25
4202	7960	5
168	7960	5

CONTINÚA



7489	13800	30
5534	7960	15
149	7960	10
6551	7960	10
8525	7960	5
7906	7960	15
181	7960	10
4217	7960	10
9544	7960	5
220	7960	10
2692	7960	10
6569	7960	10
215	7960	10
217	7960	15
5215	7960	5
212	7960	10
210	7960	5
211	7960	10
5082	7960	15
8725	7960	15
8252	7960	10
8312	7960	10
8726	7960	25
8722	7960	10
7502	7960	50
7501	7960	37,5
7510	7960	37,5
8334	7960	15
1842	13800	75
5931	13800	45
5923	13800	75
157	7960	10
S/N	13800	50
9545	7960	5
9754	13800	30
9746	7960	15
9767	7960	10
9657	7960	10
8953	7960	375

Teniendo en cuenta lo anterior se separó los fusibles detallados en la tabla 5 para obtener así únicamente aquellos equipos instalados en transformadores mismos que se identifican en la tabla 6.

Tabla 6

Fusibles como elemento de protección de transformadores

Fuente: Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi

Nº ID	ACTIVO	TIPO	FASE CONEXION	VOLTAJE [V]
1005	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
1007	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
1008	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
2568	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	7960
2569	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	7960
2886	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
2887	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	13800
2888	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
2889	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
2890	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
2891	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
3525	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	13800
3532	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
3533	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
3885	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
3888	Si	Secc.Fusib. de Trafo	C	
4162	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
4817	Si	Secc.Fusib. de Trafo	C	7960
4818	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	13800
4819	Si	Secc.Fusib. de Trafo	C	7960
4820	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
4821	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
4835	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	13800
4836	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
4837	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
4838	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
4839	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
7741	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	13800
60161	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	13800
67952	Si	Secc.Fusib. de Trafo	B	7960
68161	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960

CONTINÚA



68162	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
68163	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
68164	Si	Secc.Fusib. de Trafo	A	7960
71369	Si	Secc.Fusib. de Trafo	ABC	13800

Como segunda instancia se ha clasificado los fusibles restantes en la tabla 7 como elementos que protegen los cables en los diferentes tramos de la línea.

Tabla 7

Fusibles como elemento de protección de Ramales

Fuente: Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi

Nº ID	ACTIVO	TIPO	FASE CONEXION	VOLTAJE [V]
2245	Si	Secc.Fusib. de Línea	C	7960
3887	Si	Secc.Fusib. de Línea	ABC	7960
4163	Si	Secc.Fusib. de Línea	B	7960
4174	Si	Secc.Fusib. de Línea	A	7960
4485	Si	Secc.Fusib. de Línea	A	7960
4496	Si	Secc.Fusib. de Línea	C	7960
4801	Si	Secc.Fusib. de Línea	C	7960
4802	Si	Secc.Fusib. de Línea	C	7960
4833	Si	Secc.Fusib. de Línea	C	7960
5458	Si	Secc.Fusib. de Línea	C	7960
5459	Si	Secc.Fusib. de Línea	C	7960
67951	Si	Secc.Fusib. de Línea	A	7960
76484	Si	Secc.Fusib. de Línea	B	13800

3.2.6. Modelamiento del sistema de Protecciones usando el Software ETAP

Partiendo del plano geo referenciado obtenido desde la Empresa Eléctrica, se modeló en el software ETAP un diagrama unifilar en el cual constan los datos reales de cargas instaladas por transformador, distancias y calibres de los conductores, datos de cada uno de los transformadores como se muestra en la Tabla 8.

El diagrama unifilar se muestra completo en el ANEXO 3.1 pero el esquema sigue la similitud con la Figura 10.

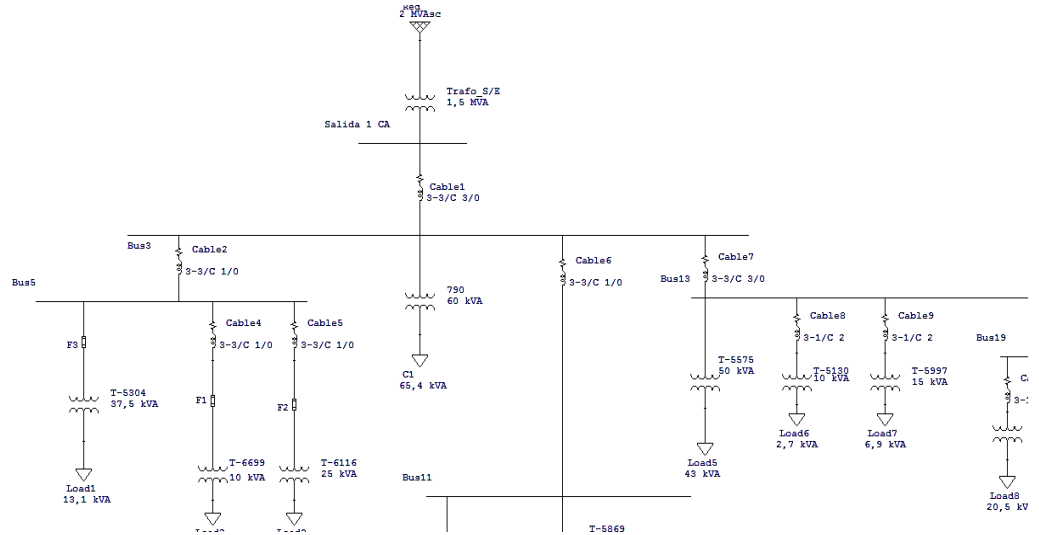


Figura 10 Modelo del diagrama Unifilar del ANEXO 3.1

3.2.7. Estudio de flujos de carga utilizando el Software ETAP

Gracias a la ayuda del software se llevó a cabo el estudio de flujos de carga mismos que se visualizan en el ANEXO 3.2, donde se resalta el hecho de tener mucho desbalance debido a sobre dimensionamiento de equipos y por otro lado el encontrar sobrecargas, sin embargo estas caídas se encuentran dentro del rango permitido como se muestra en el ANEXO 1 la resolución 004, 01 de la Conelec.

Los datos obtenidos del reporte se muestran en el ANEXO 3.3

La figura 11 muestra un ejemplo de lo que se está viendo actualmente en el sistema.

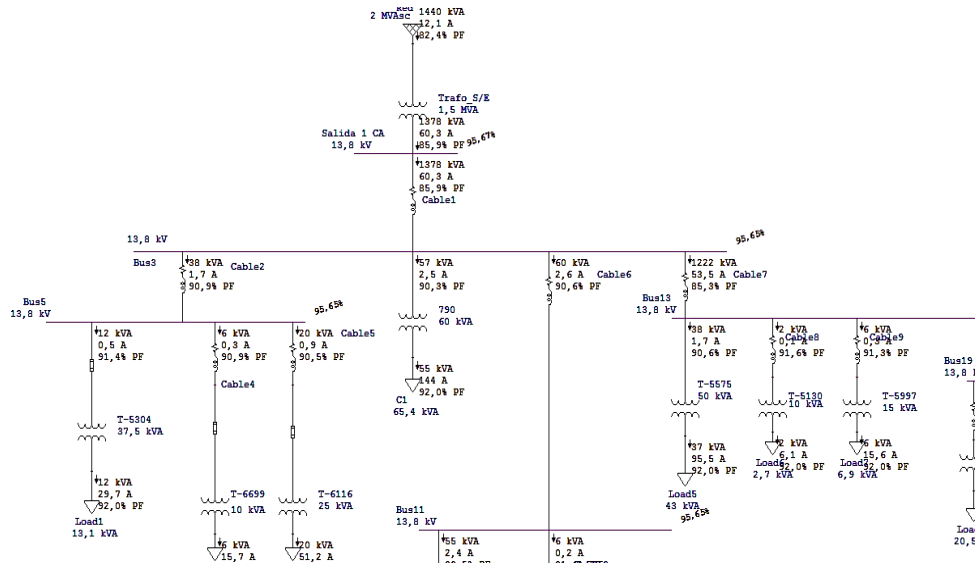


Figura 11 Modelo del diagrama Unifilar bajo el estudio de Flujos de Carga ANEXO 3.4

3.2.8. Estudio corrientes de Corto Circuito utilizando el Software ETAP

Así también es muy útil la información obtenida de los estudios de cortocircuito mismos que son de gran importancia para conocer los sectores más vulnerables así como también las capacidades máximas de los equipos se detallan en el ANEXO 3.4, más sin embargo se muestra la figura 12. Un breve indicio del estatus actual de un ramal.

El software presenta la posibilidad de realizar este estudio según normas ANSI o IEEE dentro de las cuales se realizará el estudio en normas ANSI dando como resultado más robustez en los equipos de protección.

Los datos obtenidos del reporte se muestran en el ANEXO 3.5

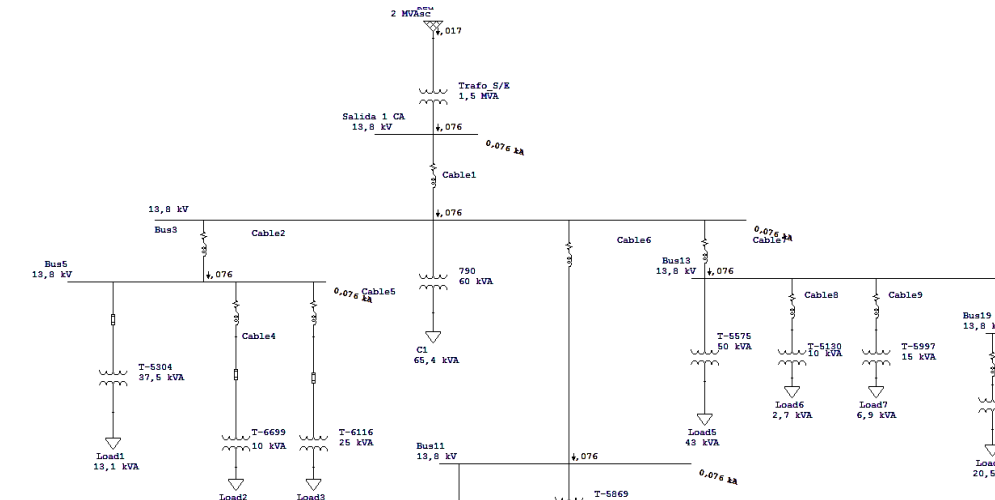


Figura 12 Modelo del diagrama Unifilar bajo el estudio de Cortocircuito ANEXO 3.4

CAPÍTULO IV

REDISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIONES

4.1. Esquema de Protecciones Propuesto

El sistema de protecciones actualmente instalado tiene muchas deficiencias en cuanto a fiabilidad y por ende repercute en la calidad del servicio, partiendo desde esto la propuesta está centrada en los siguientes puntos:

- Redimensionamiento de equipos tales como: fusibles en los seccionadores, reconectores y seccionalizadores.
- Ubicación óptima de los equipos dimensionados.

Por consiguiente se considera prudente hacer ciertas aclaraciones al respecto, en las que se resalten aspectos que permitirán una correcta interpretación de la propuesta.

Los seccionadores fusibles están representados por el símbolo “F- #” precedido por su correspondiente número del transformador protegido. En caso de tratarse de un seccionador fusible que se propone instalar en líneas, las letras “F” estarán precedidas por la letra “L” (línea) y su correspondiente numeración. Los reconectores estarán ubicados en el plano con la letra “R” con su respectiva numeración y los seccionalizadores de igual manera están representados por la letra “S” y su numeración.

En la propuesta realizada se tiene en cuenta los dos planos unifilares del sistema de protecciones: el plano actual de ELEPCO S.A. y el plano propuesto desarrollados en el Software ETAP que se encuentra instalado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, laboratorio de Multiplataformas. En el plano actual de la Empresa Eléctrica Cotopaxi se encuentra descrito como se vio en el Capítulo III. Dentro de la nomenclatura del nuevo plano, se realizará como se ha explicado con anterioridad.

4.2. Localización Óptima de los Equipos

La ubicación actual de puntos de seccionamiento no ofrece unas condiciones favorables para la coordinación de protecciones, por lo cual se ha determinado retirar los equipos actualmente existentes (seccionadores fusible, reconectores), para la instalación de otros nuevos y reubicación de los mismos, como se muestra en el diagrama ANEXO 3.1 Considerando las normas de distribución de energía referente al seccionamiento de alimentadores primarios y los criterios de protecciones eléctricas, se ha propuesto un nuevo esquema de protecciones para el alimentador el cual se presenta en el diagrama ANEXO anteriormente citado. Para esta propuesta se consideraron los siguientes criterios:

- La ubicación de seccionadores fusibles a no menos de 200 metros en la parte urbana.
- Los reconectores deben estar conectados en sectores rurales vulnerables a fallas producidas por efectos naturales.
- Los seccionalizadores se ubicarán en sitios estratégicos, mismos que faciliten el acceso para apertura y cierre del circuito con fines de facilitar las maniobras de mantenimiento, y la filosofía de salvar el fusible.
- Corriente de cortocircuito y carga del tramo a proteger.

Debido a la cercanía entre algunos seccionadores fusibles dispuestos en serie y la poca diferencia de carga entre algunos consecutivos además de ser obsoletos ante la carga actualmente instalada, resultan ser desfavorables para una buena coordinación, se propone ante esto el retiro de los seccionadores actuales, más sin embargo se podrán reutilizar para sectores con ese requerimiento de corriente al cual están configurados.

Para la protección de ramales, se propone la instalación de los siguientes seccionadores fusibles:

- Instalación de F/L-4 en el Ramal 4, poste 145500.
- Instalación de F/L-6 en el Ramal 6, poste 103499.
- Instalación de F/L-7 en el Ramal 7, poste 49966.
- Instalación de F/L-9 en el Ramal 9, poste 49890.
- Instalación de F/L-10 en el Ramal 10, poste 53451.
- Instalación de F/L-11 en el Ramal 11, poste 113187.
- Instalación de F/L-17 en el Ramal 17, poste 117451.
- Instalación de F/L-18 en el Ramal 18, poste 104957.
- Instalación de F/L-20 en el Ramal 20, poste 54340.
- Instalación de F/L-24 en el Ramal 24, poste 107573.
- Instalación de F/L-26 en el Ramal 26, poste 54902.
- Instalación de F/L-27 en el Ramal 27, poste 54818.
- Instalación de F/L-28 en el Ramal 28, poste 54812.
- Instalación de F/L-29 en el Ramal 29, poste 54701.

Hay q considerar que en el troncal principal no debe existir seccionadores tipo fusibles, ya que está protegida por el relé de la subestación, además en los seccionamientos de transferencia de carga ya que son puntos de mantenimiento, se propone cambiar a seccionadores tipo barra:

- Instalación F/L-1 en la troncal principal salida sub estación, poste 49806.
- Instalación F/L-2 en la troncal principal Gualundúm, poste 49857.
- Instalación F/L-3 en la troncal principal Inicio Locoá, poste 49845.
- Instalación F/L-5 en la troncal principal Locoá Illuchi poste 49994.
- Instalación F/L-8 en la troncal principal Transferencia de carga Culaguango, poste 49946.
- Instalación F/L-12 en la troncal principal Hacienda San Luis, poste 53390.

4.3. Dimensionamiento y selección de fusibles dentro del Estudio Propuesto para los centros de transformación.

4.3.1. Transformadores aéreos monofásicos

Para pasar a la coordinación de protecciones en un alimentador primario de distribución, se tendrá que seleccionar la protección de media tensión del Centro de Transformación Monofásico, tomando en consideración los aspectos que se mencionan en el CAPÍTULO I.

Dada la información proporcionada por el departamento de planificación de la Empresa Eléctrica en la que se detallan los datos necesarios acerca de los transformadores instalados, de esta manera se citará el cálculo de la protección correspondiente a un centro de transformación de 15 KVA y se observará graficado tres tipos de curvas: la primera curva que es la corriente de Inrush y de carga fría (Corriente de irrupción), la segunda que es la curva de daño del transformador y la tercera que es la corriente nominal del transformador, la cual se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$I_{nominal} = \frac{Potencia\ Nominal\ [KVA]}{Voltaje\ Nominal\ LN\ [KV]} \quad (EC\ 4.1)$$

$$I_{nominal} = \frac{15\ [KVA]}{13,8\ [KV]} = 1,08\ [A]$$

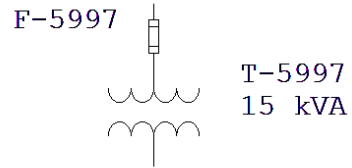
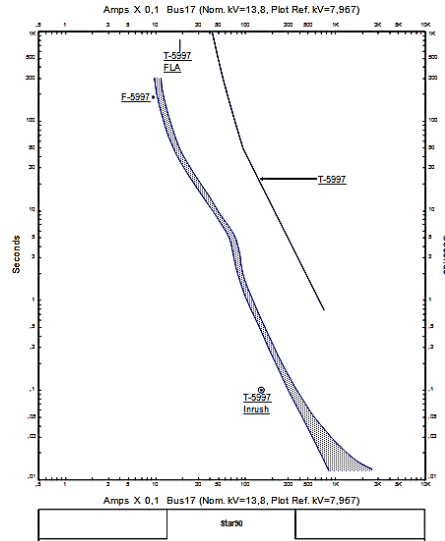


Figura 13 Curva de un transformador monofásico y su elemento protector (fusible)

4.3.2. Transformadores aéreos trifásicos

De manera idéntica al caso anterior se utilizará un solo transformador para ejemplificar el método, siendo un transformador trifásico de 37,5 KV.

$$I_{nominal} = \frac{Potencia\ Nominal\ [KVA]}{\sqrt{3} * Voltaje\ Nominal\ LN\ [KV]} \quad (EC\ 4.2)$$

$$I_{nominal} = \frac{37,5\ [KVA]}{\sqrt{3} * 13,8\ [KV]} = 1,57\ [A]$$

Hay que tener en cuenta que los transformadores trifásicos deben ser protegidos por el lado de bajo voltaje, así:

$$I_{bv} = \frac{Potencia\ Nominal\ [KVA]}{\sqrt{3} * Voltaje\ Nominal\ LN\ bv\ [KV]}$$

$$I_{bv} = \frac{37,5\ [KVA]}{\sqrt{3} * 0,24\ [KV]} = 90,2\ [A]$$

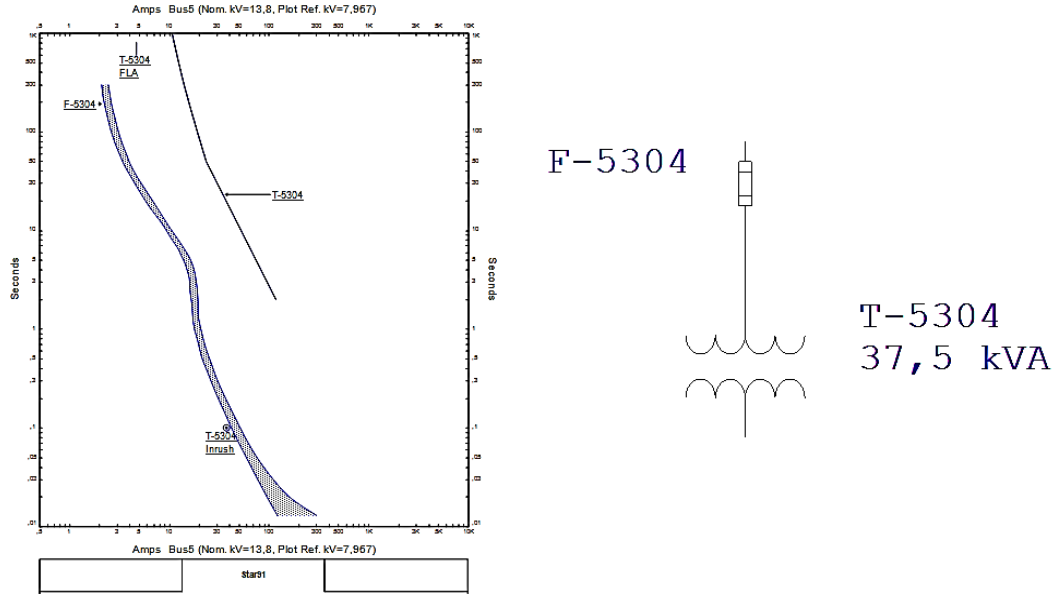


Figura 14 Curva de un transformador trifásico y su elemento protector (fusible)

4.4. Coordinación de Protecciones

Tomando en cuenta los criterios de coordinación de protecciones mencionados en el CAPÍTULO II, utilizando el diagrama unifilar del alimentador con la ubicación propuesta anteriormente, las magnitudes de corrientes de falla y las corrientes de carga que se muestran en el diagrama ANEXO 3.4. Se obtendrá la coordinación entre los diferentes equipos de protección dispuestos en serie en el alimentador, para de esta manera conseguir un despeje oportuno de fallas transitorias con el mínimo número de usuarios afectados por fallas permanentes.

Para la coordinación de la estructura propuesta se procede a realizar cuatro etapas de coordinación que son:

- Coordinación fusible-fusible para los diferentes ramales.
- Coordinación reconectador-fusible.
- Coordinación relé-fusible.
- Coordinación relé- reconectador.

4.4.1. Coordinación Fusible – Fusible

Se ha considerado la colocación de fusibles tipo “T”, de fusión lenta para los ramales mismos que permitirá la coordinación de mayor número de fusibles dispuestos en una conexión en serie. La coordinación de los fusibles protector y protegido se detalla a continuación:

Tabla 8

Elementos que interactúan con la coordinación en el primer Ramal

RAMAL	EQUIPO PROTEGIDO	ELEMENTO PROTECTOR	POSTE INSTALACIÓN	ELEMENTO COORDINADO	CORRIENTE [A]	POSTE INSTALACIÓN
1	T-5304	F-5304	49802	F/L-1	30	49806
	T-6699	F-6699	49801			
	T-616	F-616	49801			

De esta manera se procederá a explicar la coordinación del primer ramal perteneciente al alimentador en estudio:

Coordinación del primer tramo

Para la coordinación del primer ramal con fusibles del tipo Slofast Dual como medio de protección para transformadores gracias a que su particular curva protege el transformador permitiendo un tiempo amplio con relación a la corriente de magnetización y corrientes de perturbaciones y sus respectivo fusible protector en las líneas de distribución teniendo así al fusible tipo T F/L-1, se escoge entonces el elemento a proteger, en este caso se escogió el centro de transformación de mayor capacidad (37,5 KVA, código 5304) cuyo fusible protector F-5304, considerando la selección del fusible para el centro de transformación en el lado de medio voltaje, se escogió un fusible SloFast -AB Change (ver ANEXO 4.4).

Luego de elegir el fusible Slofast (como se vio con anterioridad), se procede a escoger el fusible protector F/L-1, teniendo en consideración su corriente de carga, ANEXO 3.2, que es de 30 amperios y con una corriente de falla de 2691 amperios según ANEXO 3.4, por lo que se escogerá un fusible 40T y ya que

para un fusible de esta capacidad el tiempo mínimo de fusión es de 0,0240 segundos o 1,44 ciclos (ver Figura 15)

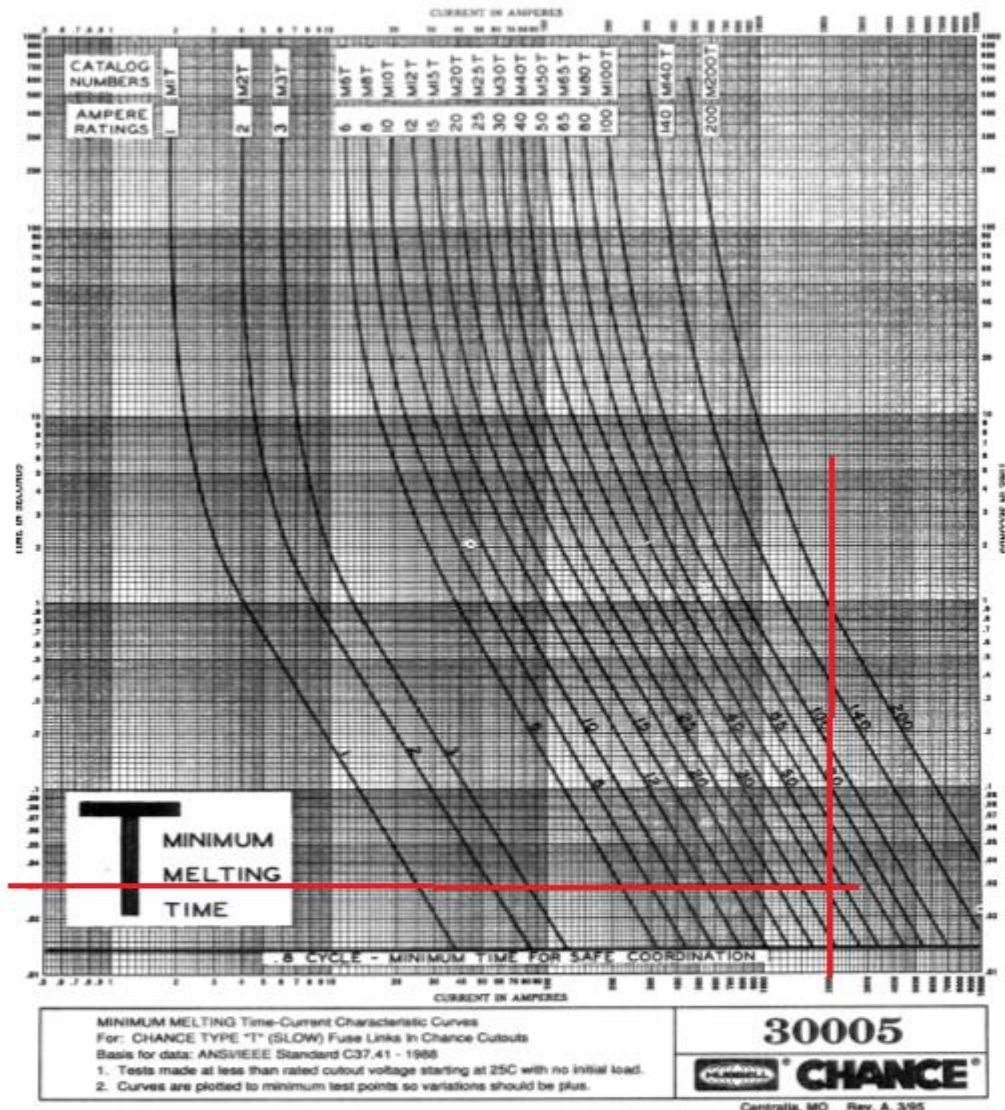


Figura 15 Curvas de Fusibles tipo T de la marca AB CHANCE

Fuente: (Hubbell Power Systems, INC, 2010)

Por selectividad debe ser mayor al 75% del tiempo máximo de limpieza del elemento protegido F-5304 (fusible slofast).

$$T_{mf} = \frac{0,024/2}{0,75} = 0,016 \text{ segundos} \quad (\text{Ec 4.3})$$

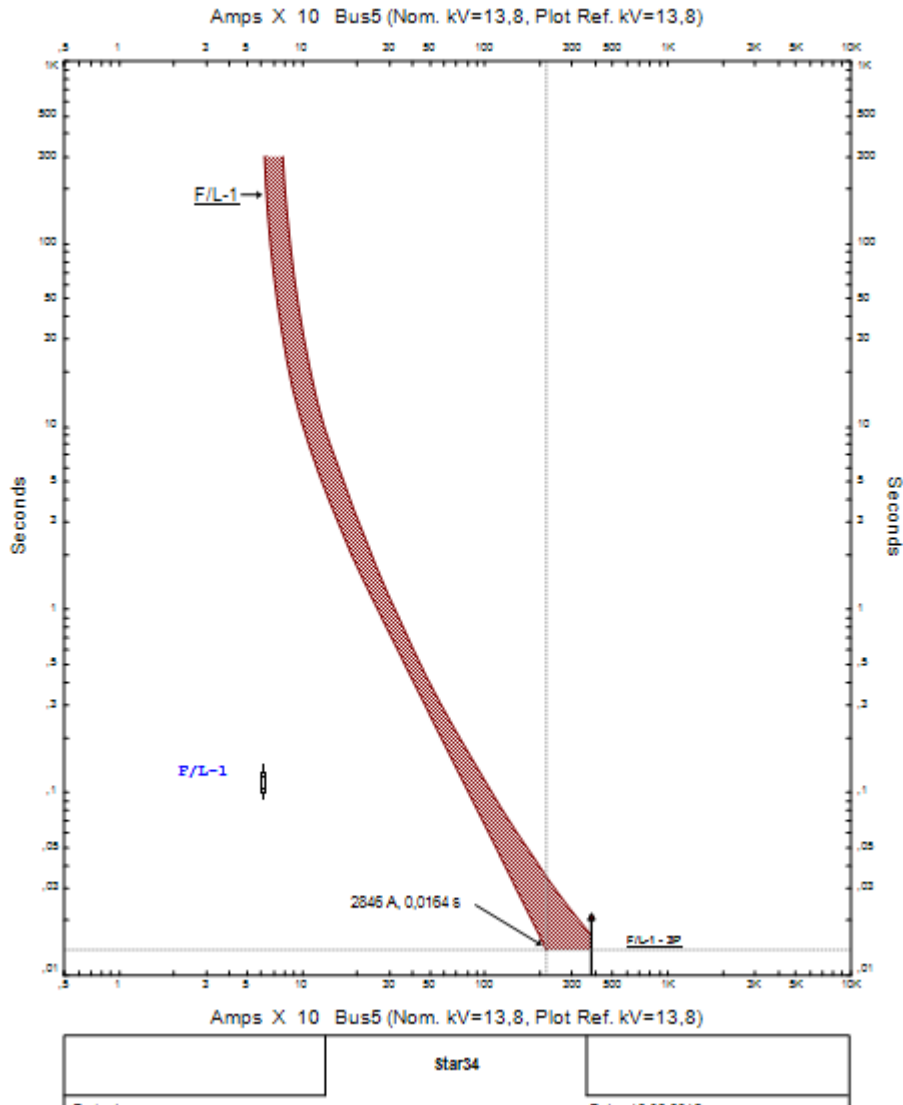


Figura 16 Valor del tiempo mínimo de fusión del fusible modelado en el software ETAP.

Es decir el tiempo mínimo de fusión del fusible F/L-1 será mayor a 0,016 segundos que se encuentra entre el límite de seguridad (Mayor al 75%) con respecto al fusible protegido.

Para concluir se toma en cuenta la gráfica con la curva de capacidad térmica del cable (Fases), tira-fusibles y transformadores, para este ramal el calibre del conductor es 2 ACSR con un conductor por fase, y este se encuentra

alejado con respecto a las corrientes de falla, la coordinación se detalla en el ANEXO 4.2

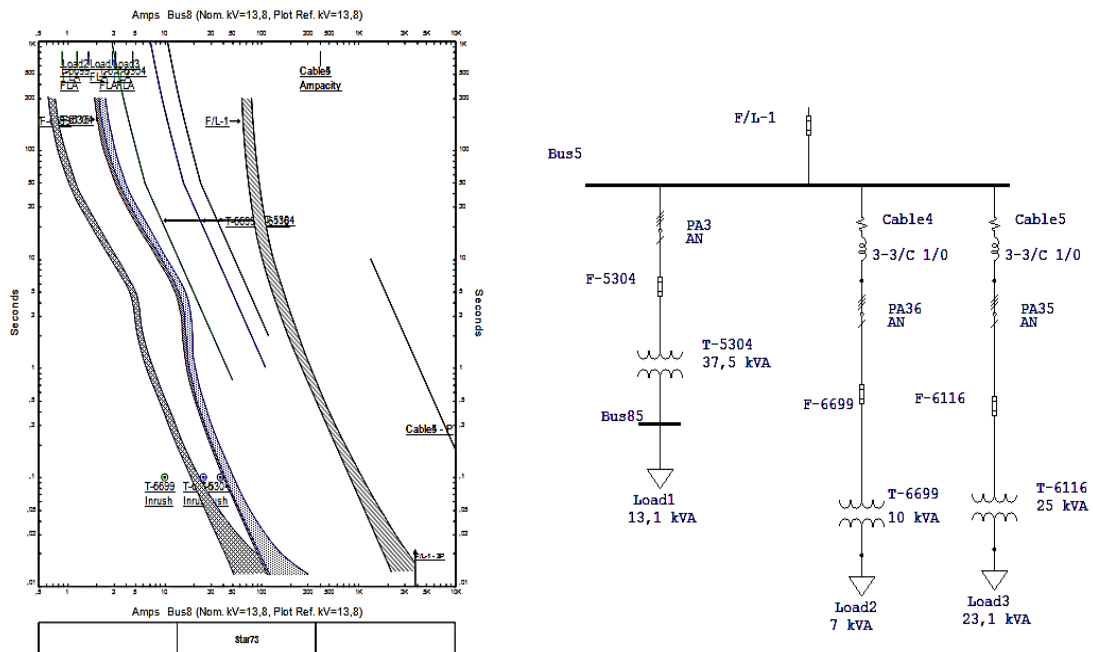


Figura 17 Curvas de coordinación del primer Ramal.

Siguiendo el mismo procedimiento se coordinarán los ramales cuyos elementos de protección se detallan en el cuadro del ANEXO 4.1 así como también las figuras con las curvas restantes mostrados en el ANEXO 4.2 y de esta manera concluir de forma resumida todas las coordinaciones detallándolas como se observa en el cuadro de protecciones del ANEXO 4.3.

A modo de comprobación además de conjugar los datos obtenidos mediante cálculos tradicionales y el software de modelamiento ETAP, se utilizaron las guías y gráficas de curvas desde la página web del fabricante de esta marca de elementos de protección (fusibles) Hubbell Power Systems, INC (Bulletin 10-8010) (Hubbell Power Systems, INC, 2010), visibles en el ANEXO 4.4.

4.4.2. Coordinación Reconectador - Fusible

Teniendo en cuenta que el mayor porcentaje del alimentador Oriental (en estudio) se encuentra en una zona rural urbano marginal, y siendo de conocimiento general que en estas zonas se producen el mayor número de

interrupciones por inconvenientes climáticos o intervenciones erróneas sobre las líneas de distribución, se ha visto necesario la implementación de reconectores trifásicos en los tres ramales (Pusuchisí y zona aledaña a la Sector Putzalahua).

Al haber realizado la nueva coordinación del alimentador, se pudo notar que los fusibles que se propone instalar en la primera derivación hacia el ramal de Pusuchisí son muy altos debido a lo extenso que este ramal es, por lo cual se considera que se instalen los equipos como se especifica en el ANEXO 4.1 y ANEXO 4.3.

En el desarrollo ejemplificado de esta propuesta se demostrará la instalación de los siguientes equipos:

- Instalación de F/L-23 en el Ramal - 23, poste 113714.
- Instalación de F/L-24 en el Ramal - 24, poste 107573.

Debido que esta es una zona rural está expuesta a descargas atmosféricas, anómalos transitorios, y gracias a su ubicación geográfica distante a los sectores poblados de la ciudad los tiempos de restablecimiento de energía son demasiado extensos, por lo que se propone ante esta problemática la instalación de 2 reconectores trifásicos:

- Instalación Reconector 1 en el Ramal 24 - Zona Pusuchisí, poste 107499.
- Instalación Reconector 2 en el Ramal 29- Zona aledaña a la Sector Putzalahua, poste 54694.

Teniendo muy en cuenta criterios de coordinación se colocarán seccionalizadores en los puntos estratégicos más lejanos al reconector, y en este caso los fusibles de menor capacidad (que se encuentran instalados actualmente) serán reemplazados por estos equipos seccionalizadores ya que las curvas del reconector no se logran ajustar correctamente y por lo tanto no cumplen con la idea de proteger al fusible, se propone entonces la instalación de 9 seccionalizadores:

- Instalación seccionalizador 1 en el Ramal 19 - Culaguango, poste 54393.
- Instalación seccionalizador 2 en el Ramal 22 - Hermano Miguel, poste 5122.
- Instalación seccionalizador 3 en el Ramal 20 - El Guango (CNT), poste 54329.
- Instalación seccionalizador 4 en el Ramal 28 - Palopo mirador y Nuetanda, poste 54900.
- Instalación seccionalizador 5 en el Ramal 16 - Locoá Pata, poste 110196.
- Instalación seccionalizador 6 en el Ramal 15 – Loma de Alcocéres, poste 110556.
- Instalación seccionalizador 7 en el Ramal 18 - Cerro Putzalahua, poste 105879.
- Instalación seccionalizador 8 en el Ramal 11 - San José, poste 113186.
- Instalación seccionalizador 9 en el Ramal 12 – Locoá Alto, poste 53390.

Para la localización e instalación de los equipos citados anteriormente se consideró la coordinación que se explica a continuación:

Para efectuar la coordinación reconectador- fusible, es necesario tener correctamente calibrados los dispositivos los respectivos en sus ramales con la coordinación fusible – fusible como ya se ha realizado, con la finalidad de conocer la capacidad de los mismos como se muestra en el ANEXO 4.3 donde se observa la estructura propuesta sin reconectador, además en la figura ANEXO 4.2 se detalla la coordinación de los ramales 23 y 24 mismos que tienen consigo los reconectores quedando de la siguiente manera:

Tabla 9

Cuadro de Protecciones de los Ramales donde se instalarán los Reconnectores

Cuadro de Protecciones Vigésimo Cuarto Ramal						
<i>Elemento Principal</i>	<i>I plena carga [A]</i>	<i>Icc [KA]</i>	<i>Elemento protegido</i>	<i>Tiempo mínimo de fusión (Tmf)</i>	<i>Elemento Protector</i>	<i>Conductor ACSR</i>
F-937 =	0,4	0,124	T-937	0,0129	F/L-24	2 - 1c

SloFast						
F-4253 = SloFast	0,6	0,53	T-4253	0,0129		2 - 1c
F/L-22 = 100T	2,5	0,978	Fusible SloFast	0,0535		1/0 - 3c
F/L-23 = 10 T	0,6	1,41	Fusibles SloFast	0,0133		1/0 - 3c
F/L-24 = 200T	3,5	1,65	Fusibles SloFast + F/L-23 + F/L-22	3,5	F/L-24	1/0 - 3c
Cuadro de Protecciones Vigésimo Noveno Ramal						
<i>Elemento Principal</i>	<i>I plena carga [A]</i>	<i>Icc [KA]</i>	<i>Elemento protegido</i>	<i>Tiempo mínimo de fusión (Tmf)</i>	<i>Elemento Protector</i>	<i>Conductor ACSR</i>
F-5082 = SloFast	0,1	0,73 (C)	T-5082	0,0131	F/L-29	2 - 1c
F-212 = SloFast	0,1	0,052 (C)	T-212	0,0131		2 - 1c
F-209 = SloFast	0,1	0,076 (C)	T-209	0,0131		2 - 1c
F-5649 = SloFast	0,3	0,079 (C)	T-5649	0,0127		2 - 1c
F/L-28 = 40T	1,26	0,714	Fusibles SloFast + F/L-26 + F/L-27	0,207		1/0 - 3c
F/L-29 = 65T	3,2	2,02	Fusibles SloFast + F/L-28	0,116	Seccionizador	1/0 - 3c

En el diagrama ANEXO 4.1, se puede apreciar la nomenclatura para la descripción de los ramales de la estructura propuesta. En la Tabla 9, se indica el resumen de la coordinación fusible – fusible del Ramal 24 y 29 correspondientes al sector Pusuchisí y cercanas a la Sector Putzalahua. Para los demás ramales el resumen sin reconectador se lo indica en la tabla ANEXO 4.3.

Con la coordinación que se muestra en las tablas anteriores y las tablas de resumen sin reconectador en el ANEXO mencionado, se puede notar que los fusibles en algunos tramos del ramal de Pusuchisí son de alta capacidad y en el ramal de la Sector Putzalahua por ser muy distantes a la subestación, se procede a retirar los seccionadores fusibles que actualmente se encuentran instalados y proponer el uso de reconectores y seccionadores para con

ello mejorar la calidad de servicio eléctrico en estas zonas, como se puede apreciar en el siguiente diagrama ANEXO 3.1 (diagrama unifilar).

Tabla 10

Cuadro Coordinación Ramales protegidos con Reconectores

Cuadro de Coordinación Fusible - Reconector (Ramal 24 - Pusuchisi)

<i>Elemento Principal</i>	<i>I plena carga [A]</i>	<i>Icc [KA]</i>	<i>Elemento protegido</i>	<i>Tiempo mínimo de fusión (Tmf)</i>	<i>Elemento Protector</i>	<i>Conductor ACSR</i>
F/L-24 = 40T	3,5	1,65	Fusibles SloFast + F/L-23 + F/L-22	3,5	R-1	1/0 - 3c
F/L-25 = 20T	1,1	1,62	Fusibles SloFast	0,0265		1/0 - 3c

Cuadro de Coordinación Fusible - Reconector (Ramal 29 – Sector Putzalahua Alto)

<i>Elemento Principal</i>	<i>I plena carga [A]</i>	<i>Icc [KA]</i>	<i>Elemento protegido</i>	<i>Tiempo mínimo de fusión (Tmf)</i>	<i>Elemento Protector</i>	<i>Conductor ACSR</i>
F/L-29 = 65T	3,2	2,02	Fusibles SloFast + F/L-28	0,34	R-2	1/0 - 3c

Como se estudió en el Capítulo II con respecto a los seccionadores, el Seccionalizado-2 se encuentra ayudando al F/L-24 aguas abajo debido a la gran capacidad de corriente que requeriría la coordinación sin seccionador, se conoce entonces que estos equipos no tienen curvas de coordinación. Por lo que operan mediante la calibración de un paso menos que el reconector.

Así entonces se procederá a ejemplificar la coordinación del Ramal 29 seleccionado, de esta manera:

Para realizar la coordinación entre los fusibles Slofast F/L-24 y F/L-25 - Reconector, se empieza por escoger el fusible adecuado para el elemento a proteger, en este caso el fusible F/L-24 es un 40T y el fusible F/L-25 es de tipo

20T como se muestra en el cuadro del ANEXO 4.3 (ver resumen ramal en la tabla anterior 10).

Una vez que se ha identificado la capacidad del tira-fusibles aguas abajo del reconectador se procede a coordinar con los siguientes valores:

Con una corriente de cortocircuito de 2,02 kiloamperios, con una corriente a plena carga de 3,2 amperios y además la corriente de operación del reconectador será calculada con la siguiente expresión:

$$I_R = 1,3 \times I_{carga\ instalada} \quad (\text{Ec 4.4})$$

$$I_R = 1,3 \times 4,9$$

$$I_R = 6,4 [A]$$

Para el estudio se sugerirá la utilización de un reconectador de marca ABB OVR-3 con Controlador PCD, mismos que ofrecen la mayor seguridad y confiabilidad para sistemas trifásicos.

Además es necesario resaltar que el reconectador estará calibrado para cuatro intentos de apertura esto significa que actuará con dos intentos rápidos y dos intentos lentos, y como ya se mencionó anteriormente los seccionalizadores están calibrados para un intento menos que el reconectador entonces se puede decir que el seccionalizador se abrirá luego del segundo intento rápido del reconectador si la falla persiste.

Esto asegurará también una buena coordinación con el fusible evitando así dificultades para su coordinación aguas arriba (reconectador – relé). De esta manera las fallas transitorias son generalmente despejadas con las dos primeras operaciones rápidas, con lo cual, sumado a la coordinación con los seccionalizadores lejanos el fusible no se fundirá innecesariamente

Aclarado esto se procede a coordinar la curva rápida del reconectador con el tiempo mínimo de fusión del fusible protegido aguas abajo para esta curva el tiempo será 0,016 segundos o 1 ciclos teniendo que ser menor al 75% del tiempo mínimo de fusión del elemento y para las siguientes curvas del reconectador se deberá multiplicar por un factor de re-cierre (ver Tabla 4.4) ya que si este tiempo de re-cierre es mayor el fusible tendrá más tiempo para enfriarse y volver a sus condiciones normales por lo que el factor será menor, y si el tiempo re-cierre es menor sucederá lo contrario.

Se tomará también en cuenta que el máximo tiempo de despeje de una falla por parte del fusible debe ser menor que el tiempo mínimo de despeje de la curva lenta del reconectador.

Tabla 11

Factor de multiplicación para las curvas rápidas del reconectador

Tiempo de Re-cierre (SEGUNDOS)	Factor de Re-cierre			
	Primera Operación Rápida		Segunda Operación Rápida	
	Valor Prom.	Valor Máx.	Valor Prom.	Valor Máx.
0,3 a 0,5	1,3	1,2	2	1,8
1	1,3	1,2	1,5	1,35
1,5	1,3	1,2	1,5	1,35
2	1,3	1,2	1,5	1,35

El punto mínimo de coordinación es el cruce de las curvas de máximo tiempo de despeje del fusible protegido con la curva característica lenta del reconector, si no existiera esta intersección se toma como tiempo de coordinación el respectivo a la corriente mínima (trip) de reconector como se muestra en la Figura 18.

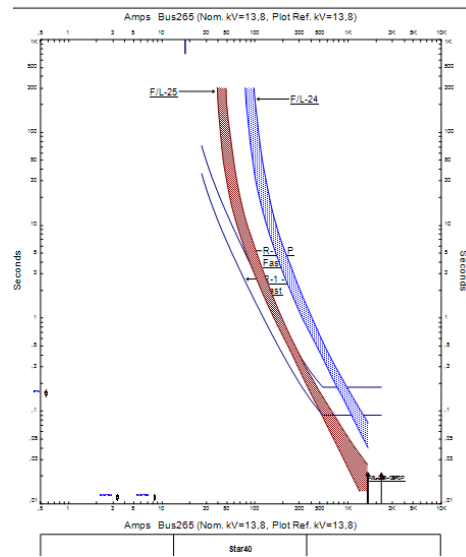


Figura 18 Curvas Coordinación Reconector - Fusible

Una vez realizada la coordinación Reconector – Fusible se procede a calibrar la unidad instantánea del reconector, la cual estará configurada con un factor de seguridad (por selectividad entre 1,1 a 1,25) y la corriente de falla máxima, como se indica a continuación en la tabla 12:

Tabla 12

Valores de calibración para las unidades instantáneas de los Reconectores.

UNIDAD INSTANTÁNEA	
EQUIPO	CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (I_{cc} [A])
R1	1800
R2	2200

Con respecto a los Seccionalizadores se menciona lo siguiente:

1. La corriente a la que el seccionalizador debe actuar se encontrará por debajo de la corriente de actuación del reconectador.
2. La corriente de actuación del seccionalizador debe estar entre la corriente de cortocircuito y la corriente con la máxima demanda.
3. La vida útil y operación adecuada del seccionalizador depende mayormente de la configuración adecuada del equipamiento y del correcto funcionamiento del cierre hermético del frame.

4.4.3. Coordinación Relé – Fusible

Para realizar la coordinación relé - fusible, se considera de suma importancia tomar en cuenta a los fusibles de mayor y menor capacidad de todo el alimentador.

De esta manera entonces se tomara el tiempo de despeje de falla de los fusibles mencionados para con este tiempo se deberá visualizar la curva del relé de la subestación siempre por encima, como si se tratara de una coordinación fusible – fusible.

En el caso del alimentador al cual se realiza el estudio, el fusible de mayor capacidad es el (100T), el fusible de menor capacidad es el (10T) y el relé utilizado para la protección de las fases y el neutro es un ABB SPAJ-140C que posee un factor de multiplicación de cinco para los transformadores de corriente.

Para establecer el Tap de fases se consideró un factor de sobrecarga del 20% con respecto a la corriente nominal ya que el alimentador no trabaja a plena carga. Para el alimentador Oriental la corriente a carga completa es de 54,2 amperios, y considerando lo anterior se ha seleccionado el Tap de fases 1,1 debido a que:

$$Tap_{(fases)} = \frac{I_{carga} \times 1,2}{RTC} \quad (\text{Ec 4.5})$$

$$Tap_{(fases)} = \frac{65,04}{60}$$

$$Tap_{(fases)} = 1,085$$

Dónde:

RTC = Resistencia interna secundaria del TC (300/5)

Una vez escogido el Tap de fases se procede a seleccionar el dial o la palanca de tiempo del relé, para el relé "51" del alimentador se calibró con una palanca de tiempo de 0,050 y el dial (factor de escala para el tipo de curva extremadamente inversa) En relés modernos trabaja a pasos muy cercanos entre sí. Por ejemplo, 0.1 a 1 en pasos de 0.05 que equivale a 18 curvas. Esto permite considerar el ajuste de dial como una función continua, por lo tanto se tomará el valor de 0,10 (valido siempre para el primer relé en caso de existir más se sumarán los tiempos individuales para el dial siguiente).

Estos valores son acordes dentro de la coordinación del fusible 100T con el relé de la subestación, ya que el tiempo de coordinación dependerá del tipo de relé a usarse (electrónico o electromecánico) de esta manera no superar estos valores para un relé electromecánico como el que se ha escogido para el estudio es imperativo.

Tomando en cuenta que la corriente de falla que es 2721 A, la corriente a plena carga de 65,4 amperios y que el tiempo máximo de fusión del fusible (100T) que es de 0,0693 segundos, el tiempo de despeje del relé será de 0,085 segundos, pero con los ajustes de la palanca de tiempo propuesto es de 0,0943 segundos o 5,658 ciclos dando un intervalo de tiempo aceptables para la coordinación tal como se muestra en la Figura 19.

Así entonces el fusible tipo 10T cuyo tiempo mínimo de despeje de falla nos ayuda a coordinar el tiempo en la curva extremadamente inversa del relé permitiendo que este al ser de 0,0129 de una pauta para calibrar los tiempos de

coordinación y selectividad de dispositivos desde el relé de la subestación hacia el ultimo usuario.

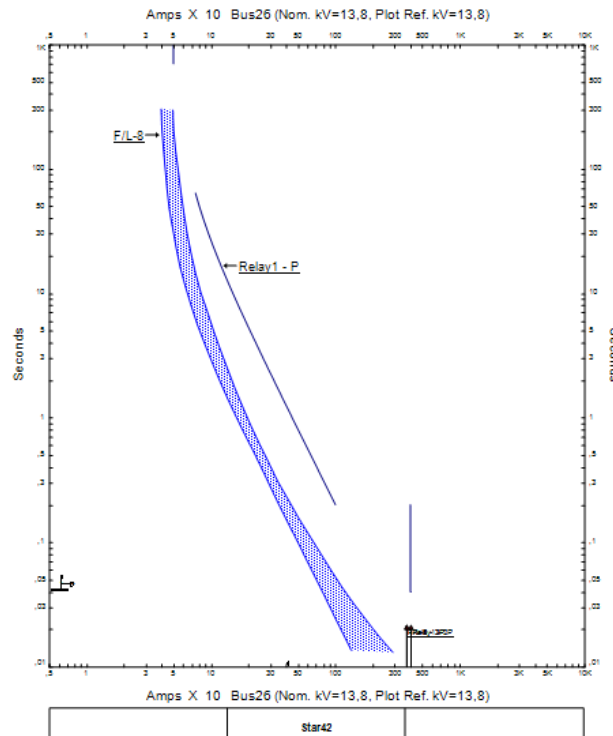


Figura 19 Curvas Fusible - Relé

Para la calibración del relé de falla a tierra “51N” se procederá de igual manera que lo anterior, considerando que para la selección del Tap puede elegirse un valor inferior a las corrientes normales de carga, con mayor desbalance es así que se obtiene:

$$Tap_{(neutro)} = \frac{I_{carga} \times 1,3}{RTC} \quad (EC 4.6)$$

$$Tap_{(neutro)} = \frac{16,32}{60}$$

$$Tap_{(neutro)} = 0,272$$

Dónde:

RTC = Resistencia internar secundaria del TC (300/5)

En la tabla 13 se muestra el resumen de la calibración del relé de protección de fases y neutro del alimentador Oriental.

Tabla 13

Valores del Relé de la subestación

PROTECCIÓN	RELÉ	RT	TA	DIA	TIEMPO	TIPO CURVA	CONDUCTOR ASCR
N		C	P	L	O		R
Fase	ABB SPAJ-140C	60	1,1	1,1	0,05	Extremadamente inversa	3/0 - 3c
			1	1,7	0,05		
Neutro	ABB SPAJ-140C	60	0,3				2 – 1c

Para la unidad instantánea la calibración estará dada por la corriente de cortocircuito del lugar donde se encuentra ubicado el relé es decir, la barra de la Salida 1 de la subestación “El Calvario”:

$$I_{cc}(\text{unidad instantánea}) = 2759 \text{ A}$$

Con la ayuda del software ETAP en la Figura 20 se puede observar como las curvas de los dispositivos deben estar dispuestas en el plano tiempo – corriente.

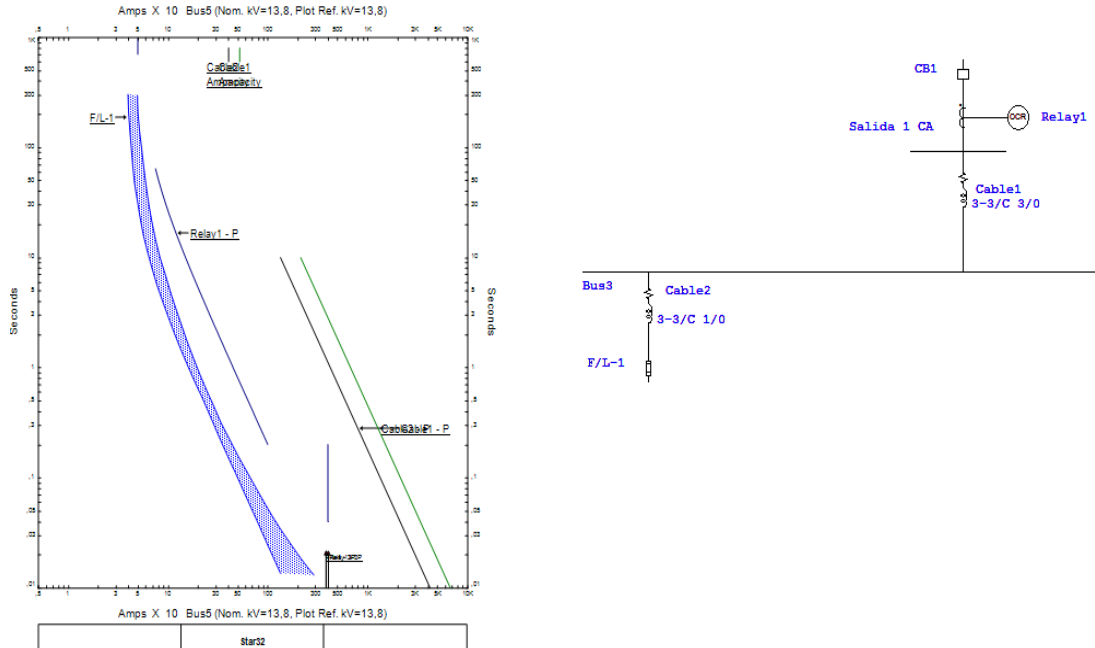


Figura 20 Curvas de coordinación Relé - Fusible

4.4.4. Coordinación Relé – Reconectador

Como ya se estableció en capítulos anteriores, el reconectador es el último dispositivo antes de que el relé llegue a completar su ciclo de actuación, por lo que debe despejar todo tipo falla cuantas veces sean necesarias. Para el estudio se coordinarán los reconectores del Ramal 24 - Pusuchisí, y Ramal 29 – Sector Putzalahua Alto con el relé de la subestación El Calvario.

Primeramente se tomará la curva lenta y rápida del Reconectador 1 conectado al Ramal 24 - Pusuchisí para luego compararla con la curva del relé, tomando en cuenta la corriente de falla que es de 2721 Amperios, la corriente de carga de 65,4 Amperios, el tiempo de despeje del relé con respecto a la curva lenta del recloser será 6,49 segundos o 389 ciclos, dando un intervalo de tiempo aceptable para su coordinación, es decir el reconectador actuará antes que el relé, en la Figura 4.9, se muestra las coordinaciones relé – recloser Pusuchisí y la Sector Putzalahua (Alto). En la tabla 14 se muestra el resumen de estas coordinaciones.

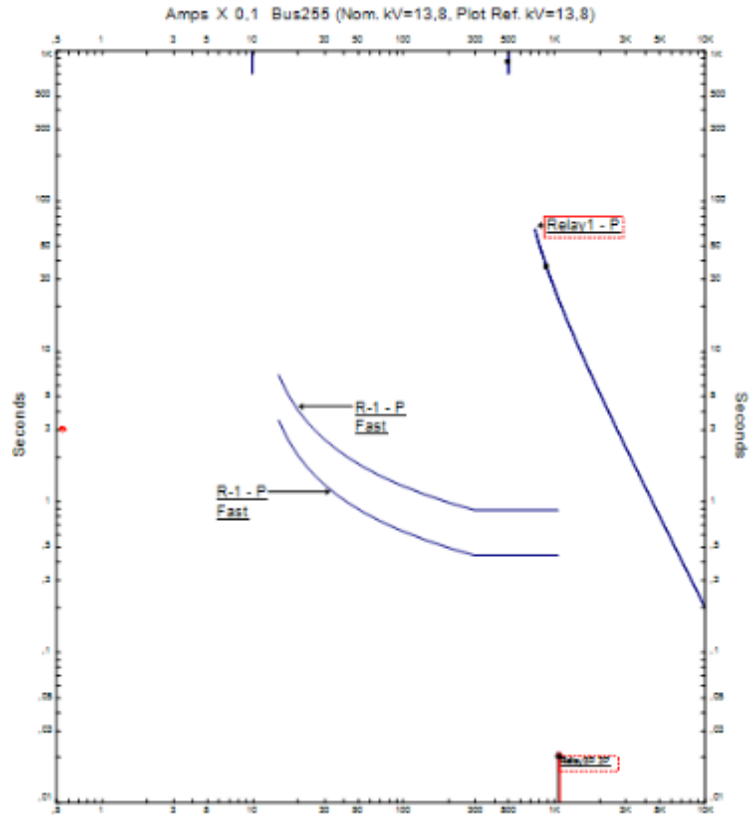


Figura 21 Curvas de coordinación Reconectador - Relé.

Tabla 14

Resumen Coordinación Reconectador - Relé

DISPOSITIVO PROTECTOR	DISPOSITIVO PROTEGIDO	ICC	ICI	TIEMPO OPERACIÓN	CONDUCTOR ASCR
R1	ABB SPAJ-140C	1800	3,2	7,4	3/0 - 3c
R2	ABB SPAJ-140C	2020	4,9	19,1	3/0 - 3c

Para la coordinación con el dispositivo de protección al neutro (50N) se la realizo de la misma forma que el de fases, por lo tanto las curvas propias al relé son las mismas.

4.5.Cálculo de Índices de Confiabilidad Actuales en el Alimentador 01 de la Subestación “El Calvario”

Mediante la identificación de los elementos activos del alimentador en estudio se busca determinar la tasa de fallas y los tiempos de reparación de las

mismas, para esto se utilizará el reporte de todas las interrupciones o fallas ocurridas en un año, gracias a la colaboración del departamento Técnico de Mantenimiento de la ELEPCO S.A. se tiene a disposición el reporte de interrupciones de fallas concernientes al año 2014 presentados en la Tabla 15.

Tabla 15

Tiempos medios en interrupción

Tiempo	Tramo Rural	
	Tiempo medio	
De conocimiento Tc	5 minutos	0,08 horas
De preparación Tp	30 minutos	0,5 horas
De localización TI	60 minutos	1 hora
De transferencia Tt	60 minutos	1 hora
De reparación Tr	150 minutos	2,5 horas
De restablecimiento Tv	30 minutos	0,5 horas

Las interrupciones y el cálculo del FMIK y el TTIK tanto programadas como no programadas, que se han presentado en el alimentador en todo el año 2014 mismas que fueron extraídas de los archivos de la Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi. Estas en su mayoría se deben a maniobras de mantenimiento de tira fusibles averiados a causa de corto circuitos y descargas atmosféricas.

Clasificando y calculando estos índices se logró observar que el tiempo y frecuencia de interrupciones son elevadas a finales e inicios de año, por tal motivo no se encuentran dentro de los límites establecidos por el CONELEC, en

la tabla 16 se muestra el resumen de los índices de las interrupciones programadas y no programadas del alimentador.

Tabla 16

Índices de Calidad para el sistema Actual

INDICES DE CALIDAD PARA EL SISTEMA PROPUESTO EN EL ALIMENTADOR				
	PROGRAMADAS		NO PROGRAMADAS	
MESES	FMIK	TTIK	FMIK	TTIK
ENERO	0,096	0,067	0,86	2,78
FEBRERO	0,076	1,324	0,205	1,12
MARZO	0,038	0,45	0,021	0,74
ABRIL			0,097	0,2
MAYO	0,003	0,0003	0,043	0,18
JUNIO	1,003	8,34	-	-
JULIO			0,02	0,72
AGOSTO			-	-
SEPTIEMBRE			0,009	0,018
OCTUBRE			0,03	0,541
NOVIEMBRE	1,59	6,578	1,87	1,23
DICIEMBRE			0,029	0,3

4.6. Cálculo de Índices de Confiabilidad al sistema de Rediseño Propuesto

Una vez definida la estructura del alimentador constituida por tramos separados por un elemento de protección estratégicamente colocado, como se puede apreciar en los diagramas unifilares del sistema propuesto, se determinará los índices para este estudio.

A continuación se presenta el resumen de los índices de calidad de servicio del sistema propuesto, En la Tabla 17, se puede apreciar la disminución de los índices debido a una buena coordinación y selección de equipos dando como resultado también la disminución de los tiempos de mantenimiento.

Tabla 17

Índices de Calidad para el sistema Propuesto

INDICES DE CALIDAD PARA EL SISTEMA PROPUESTO				
EN EL ALIMENTADOR				
	PROGRAMADAS		NO PROGRAMADAS	
MESES	FMIK	TTIK	FMIK	TTIK
ENERO	0,1	0,07	0,33	2,32
FEBRERO	-	-	0,04	0,12
MARZO			0,03	0,04
ABRIL	2	16		
MAYO	2	16	0,02	0,08
JUNIO			-	-
JULIO			0,02	0,07
AGOSTO			-	-
SEPTIEMBRE			0,01	0,01
OCTUBRE			0,03	0,11
NOVIEMBRE	1,06	12,78	0,05	0,12
DICIEMBRE			0,02	0,03

(FMIK) **Frecuencia Media de Interrupción por kVA** nominal Instalado;

En un período determinado, representa la cantidad de veces que el kVA promedio sufrió una interrupción de servicio.

(TTIK) **Tiempo Total de interrupción por kVA** nominal Instalado;

En un período determinado, representa el tiempo medio en que el kVA promedio no tuvo servicio.

Y se determinan con las siguientes expresiones:

$$FMIK = \frac{\sum_i kVA f_{s_i}}{kVA_{inst}} \quad (\text{Ec 4.7})$$

$$TTIK = \frac{\sum_i kVA f_{s_i} \times T f_{s_i}}{kVA_{inst}} \quad (\text{Ec 4.8})$$

Dónde:

- $\sum i$: Sumatoria de todas las interrupciones del servicio "i" con duración mayor a tres minutos, para el tipo de causa considerada en el período en análisis.
- kVAfsi: Cantidad de kVA nominales fuera de servicio en cada una de las interrupciones "i".
- KVAinst: Cantidad de kVA nominales instalados.
- Tfsi : Tiempo de fuera de servicio, para la interrupción "i"

Tomado del Anexo 1 (CONELEC, 2001)

4.7. Análisis de Resultados

Mediante los valores obtenidos con los índices de confiabilidad, mismos que se han calculado apegándose a unas situaciones lo más reales posibles mismas que se escalaron a través de la observación de registros anteriores facilitados por la Empresa Eléctrica, se puede observar que no solo las fallas programadas se pueden agilitar sino que también en los meses con más presencia de problemas en el servicio los índices de calidad no se verán mayormente afectados; por consiguiente se ejecutará un análisis, que determina la viabilidad del proyecto tomando en consideración las mejoras en los ramales que constituyen el alimentador en estudio tienen una repercusión económica importante en tanto a la ejecución o implementación, se pondrá de manifiesto el ahorro económico que se conseguirá debido a la reducción de la energía no suministrada, sin embargo no se puede hablar de tasa de rentabilidad en el sistema propuesto a pesar de encontrarse este ahora, y esto se debe a la naturaleza de la empresa misma que ofrece un servicio público.

4.8. Inversiones

Tomando como referencia los precios unitarios de los elementos de redes de medio voltaje proporcionados por la empresa Eléctrica de Ambato, se presenta a continuación un análisis de las inversiones propuestas en este estudio se detallan en las siguientes tablas:

Tabla 18

Presupuesto asumible para adquisición e instalación de fusibles SloFast Dual

Presupuesto para Tira fusibles Tipo SloFast dual

Nº	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
1	Tirafusible 0,3 [A]	10	2,52	25,2
2	Tirafusible 0,6 [A]	32	2,52	80,64
3	Tirafusible 0,7 [A]	6	2,52	15,12
4	Tirafusible 1 [A]	4	2,52	10,08
5	Tirafusible 1,3 [A]	29	2,52	73,08
6	Tirafusible 1,4 [A]	24	2,52	60,48
7	Tirafusible 2,1 [A]	12	2,53	30,36
8	Tirafusible 3,1 [A]	5	2,53	12,65
9	Personal de Mantenimiento			540
10	Otros (Gasolina, equipos)			360
TOTAL				307,61

Tabla 19

Presupuesto asumible para adquisición e instalación de Tira fusibles Tipo T

Presupuesto para Seccionadores Fusible

Nº	Descripción	Cantida d	Precio Unitario	Precio total
1	Tirafusible 10T	5	1,02	5,1
2	Tirafusible 15T	12	1,02	12,24
3	Tirafusible 20T	3	1,33	3,99
4	Tirafusible 25T	6	1,33	7,98
5	Tirafusible 30T	13	1,33	17,29
6	Tirafusible 40T	4	1,65	6,6
7	Tirafusible 50T	3	1,65	4,95
8	Tirafusible 65T	1	2,85	2,85
9	Tirafusible 80T	1	2,85	2,85

CONTINÚA



10	Tirafusible 100T	16	12,5	200
11	Tirafusible 140T	6	14,5	87
12	Portafusible Seccionador 200A. 15KV	4	125	500
13	Personal de Mantenimiento			540
14	Otros (Gasolina, equipos)			360
TOTAL				850,85

Tabla 20 Presupuesto asumible para adquisición e instalación de Seccionalizadores y Reconectores

Presupuesto para Seccionalizadores y Reconectores

No	Descripción	Cantida d	Precio Unitario	Precio total
1	Seccionalizador ABB Unipolar 15- 38KV	9	1500	13500
2	Reclocer ABB OVR-3 PDC electrónico	2	5000	10000
3	Personal de Mantenimiento			1110
4	Otros (Gasolina, equipos)			320
TOTAL				24930

Tabla 21

Presupuesto asumible para adquisición e instalación de Equipos de Protección para el Alimentador Primario Oriental

Presupuesto Final para el Alimentador Oriental

No	Descripción	Precio total
1	Total Tirafusibles SloFast Dual	307,61
2	Total Seccionadores Fusible	850,85
3	Total Reconector y Seccionalizador	24930
TOTAL		26088,46

4.9. Ahorro por reducción de energía no suministrada

Para el cálculo del ahorro producto de la reducción de la energía no suministrada se utilizara el costo actual del KWH suministrado que es de \$ 0,09 Dólares y la energía demandada del alimentador de todo el año, información obtenida de los registros de ELEPCO S.A., la cual es 5210542,20 KW/H con lo que se determinará la energía no suministrada del alimentador para la estructura actual y propuesta.

La energía no suministrada se calculará empleando la EC 2.2 enunciada en el CAPÍTULO II.

Para el caso de la estructura existente los resultados de la energía no suministrada se muestran en la tabla 4.15

Tabla 22

Cálculo de la Energía no Suministrada para el Sistema Actual

Cálculo de la energía no suministrada Sistema Actual

<i>Alimentador</i>	KW/H Año	Tiempo de interrupción (Horas/Año)	ENS(KWH/Año)
<i>Primario Oriental</i>	5210542,2	659,28	392146,83

Tomando en consideración que el alimentador Oriental en su mayoría de usuarios es de tipo residencial el costo de la energía no suministrada en la Tabla 23.

Tabla 23

Costos generados por la Energía no Suministrada

Costos por energía no suministrada

Alimentador	Valor KW/H	ENS(KWH/Año)	Costo ENS
Primario Oriental	\$0,09	392146,83	\$ 35.293,22

Para el caso de la estructura propuesta los resultados de los cálculos de la energía no suministrada (ENS), se muestra en la Tabla 24

Tabla 24

Cálculo de la Energía no Suministrada para el Sistema Propuesto

Cálculo de la energía no suministrada Sistema Propuesto

Alimentador	KW/H Año Suministrado	Tiempo de interrupción (Horas/Año)	ENS(KWH/Año)
Primario Oriental (Propuesta)	5210542,2	69,8	41517,79
Instalación	5210542,2	24	14275,45
TOTAL			55793,24

Cabe mencionar que en los resultados se incluye el tiempo de instalación del nuevo sistema de protecciones. El cual estará a cargo de ocho equipos de trabajo, con tres días de suspensión de servicio eléctrico, trabajando ocho horas. En la Tabla 25 se puede apreciar las suspensiones programadas con todos los detalles para esta implementación.

Tabla 25

Cronograma de Suspensión Programada del Servicio para instalación de equipos nuevos en el Alimentador 01 Oriental

Fecha de Inicio	Hora de Inicio	Fecha de arreglo	Hora de Arreglo	Situación	Núm. Trafo	Núm. Usuarios
4/1/2016	8:00:00	4/1/2016	16:00:00	Prog.		
5/1/2016	8:00:00	5/1/2016	16:00:00	Prog.	189	3310
7/1/2016	8:00:00	7/1/2016	16:00:00	Prog.		

A continuación se muestra el valor de la energía no suministrada de la estructura propuesta, como se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26

Costo final de energía no Suministrada para el Sistema Propuesto

Costos por energía no consumida

Alimentador	KW/H No Suministrado	ENS(KWH/Año)	Costo ENS
Primario Oriental	\$0,09	41517,79	\$ 3.736,6

Instalación de equipos	\$1,50	14275,45	\$20.413,18
		55793,24	\$24.149,70

Siendo de esta manera como se visualiza el Sistema Propuesto en tanto a gastos, a continuación se presentará el ahorro que se obtiene al comparar los dos valores, como se ve en la Tabla 27.

Tabla 27

Costo del ahorro del Sistema Propuesto vs el Sistema Actual

Alimentador	Costo		Ahorro
	Sistema Actual	Sistema Propuesto	
Primario Oriental	\$ 35.293,22	\$24.149,70	\$11.143,52

Este valor de ahorro está relacionado directamente con la disminución de los KWH no consumidos al momento de suceder una falla en la red de distribución, debido a la implementación de un nuevo sistema de protecciones y a la reducción de tiempo de operación y mantenimiento se ha conseguido un uso óptimo del servicio eléctrico.

Más análisis económico es un tanto irrelevante dado que al ser la Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi S.A. de carácter mixto por autogestión y el servicio que brinda es público, no se requiere de una tasa de recuperación ante el proyecto, siendo la mejora en el servicio la mayor ganancia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El presente trabajo cumple con el objetivo propuesto al adecuar el sistema de protecciones del Alimentador 01 de la Subestación “El Calvario” ELEPCO S.A. y con ello mejorar sustancialmente la confiabilidad del servicio eléctrico como exige la CONELEC en su Resolución 004, 01 mediante la utilización de un paquete computacional existente en las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL, ETAP 12.6, evitando así también el incremento de fallas que puedan comprometer la integridad los equipos instalados en dicho alimentador.
- Debido al tipo de alimentador al cual se le realizó el estudio (urbano marginal) y la dificultad que representa el movilizar personal hasta el sitio de la falla, los equipos colocados sin un estudio previo y/o equipos instalados hace varios años han quedado obsoletos generando así perdidas tanto para el usuario como para la empresa en términos de energía no suministrada.
- Los dispositivos de protección actualmente instalados son insuficientes e ineficaces frente a fallas ya que no se encuentran ubicados en sitios estratégicos frente a la longitud y capacidad instalada en el alimentador.
- El software ETAP con licencia otorgada por Silvatech a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL genera demasiados inconvenientes para realizar trabajos de gran alcance debido a su limitada capacidad, problemática que no ha sido un impedimento pero si una gran dificultad en la realización de este proyecto.
- Los datos recolectados durante un año por el personal de la empresa eléctrica no permite un análisis a profundidad de los índices de confiabilidad al no contar con datos más precisos sobre las

interrupciones que han ocurrido, presentando además grandes deficiencias en torno a la distribución ya que en los ramales más lejanos se registran caídas de tensión que sobrepasan el límite permitido.

- Se ha utilizado un criterio de selectividad con respecto a los fusibles que protegen los centros de transformación, de manera que permitan gracias a sus características constructivas proteger los equipos en toda situación (corrientes de magnetización, corrientes de desbalance y corrientes de carga fría) sin descuidar la capacidad nominal dentro de la cual operan y la corriente de falla a la cual actúan.

5.2.Recomendaciones

- En primera instancia se recomienda la reubicación de varios elementos del alimentador, siendo estos tirafusibles obsoletos o mal dimensionados, transformadores trabajando en sobre carga mientras que otros se han hallado sobredimensionados, así como también se tiene en cuenta el desbalance de fases encontrados a lo largo de los ramales monofásicos siendo exactos la fase C de ciertos ramales más lejanos podría funcionar correctamente conectados a la fase A mejorando así el porcentaje de caída de voltaje.
- Se recomienda así también la ubicación de elementos de protección más pasivos en las estructuras de distribución aérea para evitar en la medida de lo posible las fallas por fenómenos naturales.
- El software ETAP no permite ejecutar análisis de cortocircuito en sistemas desequilibrados, únicamente permitiendo realizar flujos de potencia en desequilibrio por lo que recomienda tener precaución con la forma de interpretar los datos desde el modelamiento al tener en cuenta esta discriminación por software.
- Al poseer una licencia muy limitada en cuanto a barras (50 barras permitidas) y enfrentados a un diagrama con alrededor de 450 barras, es recomendable trabajar el sistema por tramos o secciones, considerando

bien las cargas acumuladas lejos de la subestación así como también la caída de voltaje hasta el sitio en análisis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, J. A. (12 de 05 de 2014). *Así Funciona*. Recuperado el 12 de 10 de 2015, de http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_circuito/af_circuito_3.htm
- Castaño, S. R. (2003). *Protección de Sistemas Eléctricos*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Castaño, S. R. (2003). *Protección de Sistemas Eléctricos*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia Manizales.
- Concha, P. (s.f.). *Universidad del Bío Bío Ingeniería Eléctrica*. Obtenido de http://patricioconcha.ubb.cl/eleduc/public_public/capitulo1/fusibles.html
- CONELEC. (2001). *Resolución 004, 01*. Quito.
- Cuevas Alvarez, P. (27 de Julio de 2012). *www.blogspot.com*. Obtenido de <http://subestacionesdedistribucion.blogspot.com/2012/07/proteccion-de-sobreintensidad.html>
- Eduardo, G. S. (2011). *Selección y coordinación del sistema de protecciones del alimentador trifásico y sus derivaciones monofásicas de la subestación El Calvario 52C8-L1 (Oriental) de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.* Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Empresa Electrica Provincial de Cotopaxi ELEPCO S.A. (2012). *www.elepcosa.com*. Obtenido de [www.elepcosa.com](http://www.elepcosa.com/1_resena.php): http://www.elepcosa.com/1_resena.php
- Esteban, S. (10 de 11 de 2013). *es.scribd*. Obtenido de [es.scribd](https://es.scribd.com/doc/183140600/Seccionalizadores-Alto-Voltaje-docx#download): <https://es.scribd.com/doc/183140600/Seccionalizadores-Alto-Voltaje-docx#download>
- ETAP. (2010). *Device Coordination & Selectivity STAR*. (ETAP) Recuperado el 06 de 10 de 2015, de http://etapven.com/selectividad_star.htm
- Harper, E. (2da Edición). *Elementos de diseño de Subestaciones Eléctricas*. Mexico: Limusa.
- Hubbell Power Systems, INC. (2010). *Curvas de comportamiento de los fusibles y Bulletin 10-8010*. AB Chance.
- Protecciones. (20 de 02 de 2014). *ClubEnsayos.com*. Obtenido de [ClubEnsayos.com](https://www.clubensayos.com/Tecnolog%C3%ADa/PROTECCIONES/1466878.html): <https://www.clubensayos.com/Tecnolog%C3%ADa/PROTECCIONES/1466878.html>
- Sánchez, R. L. (2012). *Modelación y análisis de la protección diferencial de barras de baja impedancia. Aplicación a la barra de 69 KV de la S/E Machala*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Técnicos. (s.f.). *Tecnoficio*. Obtenido de www.tecnoficio.com
- Universidad Don Bosco. (2009). *Introducción al ETAP*. El Salvador: Facultad de Ingeniería.

Valdiviezo, W. A. (2003). *Coordinación de protecciones eléctricas de los alimentadores primarios del sistema eléctrico Tena*. Latacunga: Escuela Politécnica del Ejército.

ANEXOS



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

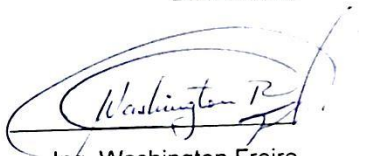
CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Cristian Abel Jiménez Pruna.

En la ciudad de Latacunga, a los 08 días del mes de diciembre del 2015.



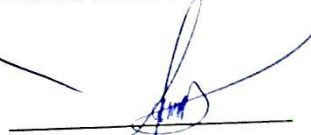
Ing. Miguel Lucio
DIRECTOR



Ing. Washington Freire
DOCENTE EVALUADOR
DESIGNADO POR EL DEPARTAMENTO



Ing. Katya Torres
DIRECTORA DE LA CARRERA



Dr. Rodrigo Vaca
SECRETARIO ACADÉMICO