



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

Proyecto de investigación y desarrollo en opción al Grado Académico de
Magister en Gestión de Energías

TÍTULO:

Diseño de un sistema de coordinación de protecciones eléctricas, para mejorar la confiabilidad del suministro de energía eléctrica en la Base Aérea Cotopaxi en el año 2017. Coordinación de protecciones eléctricas utilizando la aplicación OETB de Excel.

Autor:

ACOSTA Gutiérrez, Segundo Hernán

Tutor:

PhD. González Palau Iliana

LATACUNGA – ECUADOR

Junio de 2017



AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe del Proyecto de Investigación y Desarrollo de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el posgraduado: Ingeniero Segundo Hernán Acosta Gutiérrez, con el título del trabajo de investigación y desarrollo titulado: DISEÑO DE UN SISTEMA DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS, PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA BASE AÉREA COTOPAXI EN EL AÑO 2017. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS UTILIZANDO LA APLICACIÓN OETB DE EXCEL, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga junio 22, 2017

Para constancia firman:

.....
MSc. Edwin Homero Moreano Martínez
Domínguez

Cc: 0502367960
PRESIDENTE

.....
PhD. Juan José La Calle

Cc: 1756604227
MIEMBRO

.....
PhD. Juan Mato Tamayo
Cc: 1756944284
MIEMBRO

.....
MSc. Edwin Marcelo Lema Guamán
Cc: 0302241351
OPONENTE

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación es de exclusiva autoría del postulante Acosta Gutiérrez Segundo Hernán, quien se responsabiliza por las ideas y comentarios emitidos en la elaboración de este proyecto.

.....

Ing. Hernán Acosta Gutiérrez

CI: 0501438956



CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN DE LA TUTORA

En mi calidad de Tutora del Programa de Maestría en Gestión de Energías, cohorte 2014, nombrado por el Honorable Consejo de Posgrados de la UTC.

CERTIFICO

Que he analizado el Proyecto de tesis de grado con el título de **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS, PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA BASE AÉREA COTOPAXI EN EL AÑO 2017. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS UTILIZANDO LA APLICACIÓN OETB DE EXCEL”** presentado por Segundo Hernán Acosta Gutiérrez, con cédula de ciudadanía 0501438956 como requisito previo para la aprobación y el desarrollo de la investigación para optar el grado de Magister en Gestión de Energías.

Sugiero su aprobación y permita continuar con el trabajo de investigación.

Latacunga junio 02, 2017

PhD. Iliana González Palau

CC. 1757070659

TUTORA



AVAL DE LA TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Maestría en Gestión de Energías cohorte 2014: **ACOSTA GUTIÉRREZ SEGUNDO HERNÁN**, cuyo título versa “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS, PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA BASE AÉREA COTOPAXI EN EL AÑO 2017. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS UTILIZANDO LA APLICACIÓN OETB DE EXCEL**”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de manera ética que estimaren conveniente

Latacunga junio 02, 2017

Atentamente,

Mg. Patricia Marcela Chacón

DOCENTE INGLÉS CENTRO DE IDIOMAS - UTC

CC. 0502211196

AGRADECIMIENTO

Mi profundo reconocimiento y agradecimiento a Dios y la gratitud a los docentes de posgrado de la Universidad Técnica de Cotopaxi, por haber aportado con sus sabios conocimientos para culminar una etapa importante en mi vida.

De manera especial al PhD. Secundino Marrero, por su valioso aporte técnico y dirección del presente proyecto de investigación.

Mi agradecimiento a la PhD. Iliana González Palau, por su apoyo constante en el desarrollo de este trabajo.

Al personal técnico del Departamento de Ingeniería Eléctrica del Grupo Administrativo Logístico de la Base Aérea Cotopaxi, quienes con su colaboración desinteresada permitieron el levantamiento de la información.

Hernán Acosta Gutiérrez

DEDICATORIA

A mis padres Julián† y Lastenia, a mi esposa Marcela, a mis adorables hijos Sandy y Diego, quienes han sido y serán la razón de mi existencia.

La confianza y apoyo incondicional se refleja en la culminación de este objetivo muy importante en mi vida.

Hernán Acosta Gutiérrez

ÍNDICE GENERAL

<i>CONTENIDO</i>	<i>PÁGINA</i>
AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO	iii
AUTORÍA.....	iv
CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN DE LA TUTORA	v
AVAL DE LA TRADUCCIÓN	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
Resumen.....	1
Abstract	2
INTRODUCCIÓN	3
ELEMENTOS DEL DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	3
a.- Situación problemática.....	3
b.- Justificación de la investigación.	4
e.- Hipótesis.....	5
f.- Sistema de objetivos específicos.....	5
g. Sistema de tareas.	6
VISIÓN EPISTEMOLÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN	7
a.- Paradigmas o enfoques epistemológicos.....	7
b.- Nivel de investigación	7
c.- Alcance de la investigación según la acción del proceso.....	8
DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS CAPÍTULOS	8
CAPÍTULO I.....	9
1. Marco contextual y teórico.....	9
1.1 Caracterización del objeto de la investigación	9
1.2 Marco teórico.....	10
1.2.1 Protecciones eléctricas	10
1.2.2 Coordinación de protecciones eléctricas.....	11
1.2.3 Confiabilidad del suministro de energía eléctrica.....	11
1.2.4 Transformadores.....	12
1.2.5 Misión e importancia de las protecciones eléctricas.....	16
1.2.6 Coordinación de protecciones.	17

1.2.7	Dispositivos de protección	19
1.2.8	Características de los elementos de protección.	21
1.2.9	Corrientes de inrush.....	21
1.2.10	Picos de cargas frías.-	24
1.2.11	Fusibles.....	24
1.2.12	Selección de fusibles para redes de distribución	26
1.3	Conclusiones del Capítulo. I	28
CAPÍTULO II:.....		29
2.	Metodología.....	29
2.1	Modalidad de la investigación	29
2.2	Diseño metodológico	30
2.3	Método de investigación	30
2.4	Técnicas e instrumentos de la investigación	31
2.4.1	Coordinación de protecciones – programa Excel	33
2.4.2	Protecciones para transformadores	35
2.4.3	Criterio para seleccionar fusibles.....	35
2.4.4	Corriente de servicio	35
2.5	Planteamiento y verificación de la hipótesis	36
2.6	Conclusiones del capítulo II	41
CAPÍTULO III:.....		42
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
3.1	Obtención de los resultados y análisis de las encuestas	42
3.1.1	Pregunta Nro. 1.- ¿Qué tipo de cortes de energía eléctrica han ocurrido?.....	43
3.1.2	Pregunta Nro. 2.- ¿Interrumpe su ambiente de trabajo un corte inesperado de energía eléctrica?	44
3.2	Levantamiento de la información del sistema eléctrico	45
3.3	Características de los transformadores y protecciones eléctricas.....	47
3.4	Datos de placa de transformadores y valores medidos de potencia y corriente	49
3.5	Estudio de corrientes de cortocircuito	50
3.6	Diagramas eléctricos utilizando el software ETAP 12.6	52
3.7	Diagramas eléctricos modificados utilizando los valores medidos, mediante el analizador de energía	56
3.8	Diagramas eléctricos modificados para determinar el consumo real de corriente. ..	57
3.9	Diagramas eléctricos modificados para determinar la corriente de cortocircuito.....	58
3.9	Conclusiones del Capítulo III.	59
CAPÍTULO IV		60
4.	PROPUESTA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	60

4.1	Título de la propuesta	60
4.2	Justificación.....	60
4.3	Objetivos	61
4.4	Estructura de la propuesta.....	61
4.5	Desarrollo de la propuesta.....	61
4.5.1	. Coordinación de protecciones para el transformador 1.....	63
4.5.2	Coordinación de protecciones para el transformador 2.....	64
4.5.3	Coordinación de protecciones para el transformador 3.....	65
4.5.4	Coordinación de protecciones para el transformador 4.....	66
4.5.5	Coordinación de protecciones para el transformador 5.....	67
4.5.6	Coordinación de protecciones para el transformador 6.....	68
4.5.7	Coordinación de protecciones para el transformador 6 sugerido.....	69
4.5.8	Coordinación de protecciones para el transformador 7.....	70
4.5.9	Coordinación de protecciones para el transformador 7.sugerido.....	71
4.5.10	Coordinación de protecciones para el transformador 8.....	72
4.5.11	Coordinación de protecciones para el transformador 8.sugerido.....	73
4.5.12	Coordinación de protecciones para el transformador 9.....	74
4.5.13	Coordinación de protecciones para el transformador 9.sugerido.....	75
4.5.14	Coordinación de protección para el fusible: Sf.....	76
4.5.15	Coordinación entre fusibles de línea: Sf y Sb.....	79
4.5.16	Resultados de coordinación de protecciones eléctricas resultantes.....	80
4.5.17	Evaluación socio-económico de la propuesta.....	81
4.5.18	Análisis del impacto en el reemplazo de las protecciones eléctricas	82
4.5.19	Estudio de la confiabilidad del sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi	84
4.5.20	Configuraciones básicas de confiabilidad	86
4.5.21	Energía no suministrada por fallas ENS antes del estudio de protecciones eléctricas	87
4.5.22	Energía no suministrada por fallas ENS después del estudio de protecciones ..	88
	CONCLUSIONES GENERALES.....	90
	RECOMENDACIONES	91
	BIBLIOGRAFÍA	92
	ANEXOS:	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Pantalla de ingreso de datos de fusibles existentes en el mercado local...	33
Tabla 2.2 Pantalla de ingreso de datos de transformadores existentes en el mercado.	34
Tabla 2.3 Datos obtenidos de las encuestas	37
Tabla 2.4 Frecuencias observables.....	37
Tabla 2.5 Frecuencias esperadas	38
Tabla 2.6 Valores de Chi cuadrado	39
Tabla 2.7 Valores percentiles X^2_t para la distribución de Chi-cuadrado	40
Tabla 3.1 Personal técnico por dependencia	42
Tabla 3.2 Resultado de la pregunta 1	43
Tabla 3.3 Resultado de la pregunta 2	44
Tabla 3.4 Tabla de transformadores existentes y protecciones existentes	47
Tabla 3.5 Características de seccionadores adicionales.....	48
Tabla 3.6 Datos de placa y valores de potencia y corrientes	49
Tabla 3.7 Valores de corriente en base a la potencia medida	50
Tabla 3.8 Reporte de cortocircuito del sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi	51
Tabla 3.9 Reporte de cortocircuito del sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi	53
Tabla 4.1 Datos del transformador.....	62
Tabla 4.2 Datos de fusibles existentes en el mercado.....	62
Tabla 4.3 Datos del transformador 1	63
Tabla 4.4 Datos del transformador 2.....	64
Tabla 4.5 Datos del transformador 3.....	65
Tabla 4.6 Datos del transformador 4.....	66
Tabla 4.7 Datos del transformador 5.....	67
Tabla 4.8 Datos del transformador 6.....	68
Tabla 4.9 Datos del transformador 6 sugerido	69
Tabla 4.10 Datos del transformador 7.....	70
Tabla 4.11 Datos del transformador 7 sugerido.....	71
Tabla 4.12 Datos del transformador 8.....	72
Tabla 4.13 Datos del transformador 8 sugerido	73
Tabla 4.14 Datos del transformador 9.....	74
Tabla 4.15 Datos del transformador 9 sugerido	75
Tabla 4.16 Datos de corriente de cortocircuito para el fusible Sf.....	77
Tabla 4.17 Protecciones resultantes	80
Tabla 4.18 Protecciones resultantes	81
Tabla 4.19 Personal afectado por cortes de energía eléctrica	82
Tabla 4.20 Índices de fallas por año y tiempo de reparación antes del estudio de protecciones eléctricas	87
Tabla 4.21 Cálculo de las fallas de cada ramal que alimenta a los transformadores ..	87
Tabla 4.22 Cálculo de la energía no suministrada por fallas antes del estudio de coordinación de protecciones eléctricas.....	88
Tabla 4.23 Índices de fallas por año y tiempo de reparación después del estudio de coordinación de protecciones eléctricas.....	88
Tabla 4.24 Cálculo de las fallas de cada ramal que alimenta a los transformadores ..	88
Tabla 4.25 Cálculo de la energía no suministrada por fallas después del estudio de coordinación de protecciones eléctricas.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Relación de potencias: a) Triángulo de potencias b) Potencia aparente, c) Potencia activa d) Potencia reactiva.....	12
Figura 1.2 Diagrama unifilar y circuito equivalente de transformador y línea de transmisión.	13
Figura 1.3 Circuito equivalente de una línea de transmisión corta.....	14
Figura 1.4 Circuito nominal π de una línea de transmisión de longitud media	14
Figura 1.5 Diagrama de un transformador ideal	15
Figura 1.6 Circuito equivalente de un transformador	15
Figura 1.7 Curva hipotética de operación de fusibles.....	18
Figura 1.8 Característica hipotética de temporización de un fusible	19
Figura 1.9 Ejemplo de un diagrama de conexiones con relé.....	20
Figura 1.10 Diagrama de un SEP con fusibles y relé.....	20
Figura 1.11 Esquema de tiempo corriente de las exigencias de un relé temporizado	20
Figura 1.12 Inrush por simpatía	23
Figura 1.13 Curva de operación de fusibles.....	23
Figura 1.14 Curva de operación de fusibles.....	24
Figura 1.15 Curva de operación de fusibles tipo K, T	25
Figura 1.16 Esquema en distribución con tres fusibles.....	26
Figura 1.17 Curva de operación de tres fusibles, para cortocircuito en el punto F1.	27
Figura 2.1 Ejemplo de curva de saturación de un transformador y conductores adjuntos	32
Figura 2.2 Software ETAP 12.6 – Electric Transient Analysis Program.....	32
Figura 2.3 Curva típica de un fusible y de un transformador.....	34
Figura 3.1 Representación de los resultados de la pregunta Nro. 1	43
Figura 3.2 Representación de los resultados de la pregunta 2	44
Figura 3.3 Subestación La Cocha.....	45
Figura 3.4 Acometida ELEPCO S.A. desde la Subestación La Cocha a la Base Aérea	46
Figura 3.5 Diagrama eléctrico utilizando ETAP 12-6	52
Figura 3.6 Determinación de la corriente de cortocircuito mediante ETAP 12.6.....	54
Figura 3.7 Determinación de corrientes máximas utilizando ETAP 12.6.....	55

Figura 3.8 Diagrama con potencias nominales o deservicio utilizando ETAP 12.6...	56
Figura 3.9 Consumos reales de corriente utilizando las cargas reales.	57
Figura 3.10 Determinación de la corriente de cortocircuito utilizando carga real.....	58
Figura 4.1 Coordinación de protecciones transformador 1	63
Figura 4.2 Coordinación de protecciones transformador 2.....	64
Figura 4.3 Coordinación de protecciones transformador 3.....	65
Figura 4.4 Coordinación de protecciones transformador 4.....	66
Figura 4.5 Coordinación de protecciones transformador 5.....	67
Figura 4.6 Coordinación de protecciones transformador 6.....	68
Figura 4.7 Coordinación de protecciones del transformador 6 sugerido.	69
Figura 4.8 Coordinación de protecciones transformador 7.....	70
Figura 4.9 Coordinación de protecciones del transformador 7 sugerido.	71
Figura 4.10 Coordinación de protecciones transformador 8.....	72
Figura 4.11 Coordinación de protecciones del transformador 8 sugerido.	73
Figura 4.12 Coordinación de protecciones transformador 9.....	74
Figura 4.13 Coordinación de protecciones del transformador 9 sugerido.	75
Figura 4.14 Separación de la curva inrush y del daño del transformador.....	76
Figura 4.15 Coordinación de protecciones con fusibles de línea: S8 y Sf.....	78
Figura 4.16 Coordinación de protecciones entre fusibles de línea: Sf y Sb.....	79
Figura 4.17 Configuración en serie.....	86
Figura 4.18 Configuración en paralelo.....	86

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

TÍTULO: “Diseño de un sistema de coordinación de protecciones eléctricas, para mejorar la confiabilidad del suministro de energía eléctrica en la Base Aérea Cotopaxi en el año 2017. Coordinación de protecciones eléctricas utilizando la aplicación OETB de Excel”

Autor: Ing. Hernán Acosta Gutiérrez

Tutora: PhD. Iliana González Palau

Resumen

El Sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi dispone de protecciones eléctricas las cuales están descoordinadas, consecuentemente esto incide en la confiabilidad del sistema eléctrico y existe el riesgo de continuar con cortes inesperados del suministro de energía eléctrica, así como se pueden producir daños a los equipos con el consecuente colapso de la red. El objetivo de este trabajo es diseñar un sistema de coordinación de protecciones eléctricas utilizando una aplicación OETB de Excel con el fin de mejorar la confiabilidad del suministro de energía eléctrica y se planteó que un sistema de coordinación de protecciones eléctricas mediante una adecuada selectividad de fusibles mejorará la confiabilidad de suministro de energía eléctrica de medio voltaje. Para diseñar la coordinación de protecciones primero se debe realizar el levantamiento de la información además se determinaron físicamente el valor de los fusibles instalados, así como las potencias de los transformadores, adicionalmente se procedió a determinar la carga nominal de todos los transformadores, denominada como corriente de servicio, la misma que se midió en horas pico. Posteriormente los datos de campo obtenidos se ingresaron al software ETAP 12.6 y en la aplicación OETB de Excel, con el fin de simular el comportamiento de los diferentes elementos del sistema eléctrico. Luego de la simulación además de la correcta selectividad de fusibles, se determinó que existen cuatro transformadores que se encuentran sobredimensionados y se procedió a rediseñar las protecciones para una potencia baja de servicio acorde a las necesidades, este cambio incide notablemente en la selectividad, caso contrario el valor de las protecciones obtenidas superan las que en realidad están colocadas. Luego del trabajo de investigación realizado se han establecido una adecuada selectividad de las protecciones y se ha determinado que existen transformadores sobredimensionados, los cuales deben ser reemplazados de acuerdo a la potencia determinada.

DESCRITORES: Coordinación de protecciones eléctricas, confiabilidad, selectividad, transformadores, horas pico, software ETAP.

ENERGY MANAGEMENT MASTER DEGREE

TOPIC: "Design of a coordination system of electrical protections to improve the reliability of the electric power supply at Cotopaxi Air Base in 2017. Coordination of electrical protections using the OETB application in Excel"

Author: Ing. Hernan Acosta Gutierrez

Tutor: PhD. Iliana Gonzalez Palau

Abstract

Cotopaxi Air Base has an uncoordinated electric protection system. Consequently, it affects the reliability of the electrical system and there is the constant risk of unexpected power outages, as well as it can cause damages to the equipment and the collapse of network. The purpose of this study was to design a system of coordination of electrical protections by using an OETB application in Excel, in order to improve the reliability of the electric power supply and it was raised that a system of coordination of electrical protections through appropriate fuse selectivity which will improve the reliability of medium voltage electric power supply. In order to design the coordination in electrical protection, the information must be gathered. In addition, the value of the installed fuses as well as the powers of the transformers was determined. Additionally, the nominal load of all transformers was nominated as current electrical service, which was measured during peak hours. Subsequently, the field data obtained was entered into ETAP software 12.6 and in the OETB application in Excel, in order to simulate the behavior of the different elements of the electrical system. After the simulation as well as the correct selectivity of fuses, it was determined that there are four transformers that are over dimensioned and it was redesigned the protections for a low power of service according to the needs, this change affects the selectivity significantly, otherwise; the value of the protections obtained surpass those that are actually placed. After the research study has been established an adequate selectivity of the protections and it has been determined that there are oversized transformers, which must be replaced according to the determined power.

DESCRIPTORS: Coordination of electrical protections, reliability, selectivity, transformers, peak hours, ETAP software.

INTRODUCCIÓN

ELEMENTOS DEL DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

a.- Situación problemática

Todo generador eléctrico desde su invención requería disponer de protecciones eléctricas para proteger el equipo y así garantizar la vida de funcionamiento.

“La cantidad de energía disponible es uno de los requisitos esenciales de la riqueza natural de un país”. (Brand-Moncada, 1976)

Inicialmente se protegía únicamente a los equipos de generación, posteriormente debido a los graves daños a los usuarios a nivel mundial ocurridos cuando el usuario se conectaba directamente a la red de generación, se normalizó a nivel internacional, la colocación de protecciones eléctricas tanto para los usuarios como para las máquinas generadoras de energía eléctrica.

Cuando se implementaron sistemas de generación de grandes potencias se realizaron sistemas de distribución con el fin de alimentar a varios usuarios, los mismos que se encontraban ubicados a distancias de varios kilómetros.

Toda empresa de distribución eléctrica, a los usuarios que disponen de medición de energía eléctrica a nivel de alto y medio voltaje, solicita que realicen una selección adecuada de las protecciones con el fin de seccionar determinadas áreas cuando se tiene una contingencia.

En el caso de la Base Aérea Cotopaxi que mantiene varios transformadores y derivaciones de redes de distribución de medio voltaje, requieren una coordinación adecuada de protecciones eléctricas con el fin de mantener el servicio de suministro de forma continua.

La coordinación adecuada de protecciones eléctricas se hace imprescindible debido a los diferentes cortes de energía eléctrica que continuamente ocurren, situación que crea malestar y pérdida de tiempo en el personal que labora no sólo con equipos eléctricos.

Ante la falta de confiabilidad del suministro de energía eléctrica, se han establecido las siguientes causas y efectos más relevantes:

Causas: protecciones eléctricas subdimensionadas, selección de protecciones eléctricas sobredimensionadas, falta de una adecuada coordinación de protecciones eléctricas. Estas causas originan los siguientes efectos: cortes de energía eléctrica, daño de transformadores y redes de distribución, baja confiabilidad del suministro de energía eléctrica.

Luego de analizar la importancia de las citadas causas y efectos, se han determinado las más relevantes, siendo las siguientes:

- Coordinación de protecciones eléctricas.
- Confiabilidad del suministro de energía eléctrica.

Es decir, si no se realiza una adecuada coordinación de protecciones eléctricas, se corre el riesgo de continuar con cortes inesperados en el sistema eléctrico así como se pueden producir daños a los equipos con el consecuente colapso de la red. Finalmente se concluye que la confiabilidad del suministro de energía eléctrica, depende de una adecuada coordinación de protecciones eléctricas.

b.- Justificación de la investigación.

El diseño de una coordinación de protecciones eléctricas es importante para determinar la correcta selectividad y operatividad de los componentes eléctricos, ante cualquier contingencia en el abastecimiento del fluido eléctrico. Con la implementación de una correcta coordinación se protegerán los equipos y redes asociados en caso de sobrecargas y sobrecorrientes.

El diseño debe hacerse en función de los elementos de protección disponibles en el mercado local, con la finalidad que sea factible su implementación y por consiguiente resulta de utilidad práctica su implementación.

La confiabilidad del suministro de energía mediante una correcta coordinación de protecciones, tendrá un impacto en la continuidad del suministro y consecuentemente se ofrecerá bienestar a todos los usuarios al ofrecer un servicio eléctrico sin interrupciones inesperadas.

c.- Objeto y problema de la investigación

Objeto de la investigación.- El objeto de estudio se encuentra en la red de distribución de medio voltaje en el tramo desde la cámara de medición de la Base Aérea Cotopaxi hasta las instalaciones de la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea-

Problema de la investigación.- La coordinación de protecciones eléctricas y su incidencia en la confiabilidad del suministro de energía eléctrica, en el sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi, en el año 2017.

d.- Campo de acción y objetivo general de la investigación

Campo de acción de la investigación.- protecciones eléctricas en los sistemas de distribución de energía.

Objetivo general de la investigación.- Diseñar el sistema de coordinación de protecciones eléctricas, utilizando la aplicación OETB (Orlys Ernesto Torres Breffe) de Excel, para mejorar la confiabilidad del suministro de energía eléctrica, en el sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi, en el año 2017.

e.- Hipótesis

El sistema de coordinación de protecciones eléctricas, mediante la selectividad adecuada de fusibles, mejorará la confiabilidad del suministro de energía eléctrica de medio voltaje en el sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi, en el año 2017.

f.- Sistema de objetivos específicos

1. Determinar las características de los elementos que componen el sistema eléctrico del alimentador, para modelar e identificar el sistema eléctrico de potencia.
2. Determinar las corrientes de cortocircuito de las líneas de distribución para establecer las protecciones de los transformadores.
3. Ingresar los datos en la aplicación OETB de Excel, para coordinar las protecciones eléctricas.

g. Sistema de tareas.

1. Determinar las características de los elementos que componen el sistema eléctrico del alimentador, para modelar e identificar el sistema eléctrico de potencia.

Tareas:

- a. Inventario de los elementos que componen el sistema eléctrico del alimentador de medio voltaje de la Base Aérea Cotopaxi.

- b. Ingresar los datos en el simulador ETAP 12.6, para simular su comportamiento.

Estas tareas se realizarán aplicando la investigación de campo para levantar la información y se utilizará la técnica de medición, método de observación e inductivo para determinar físicamente los datos de placa

2. Determinar las corrientes de cortocircuito de las líneas de distribución para establecer las protecciones de los transformadores.

Tareas:

- a. Determinar las características de las líneas de distribución, mediante los datos obtenidos en el objetivo específico anterior y con tablas de conductores.

- b. Determinar las características de placa de los transformadores y determinar los valores máximos y mínimos que soportan los mismos.

Estas tareas se ejecutarán mediante la investigación de campo y bibliográfica, además se determinan los valores de placa utilizando la técnica de medición, aplicando el método inductivo y deductivo se determina las características reales de placa.

3. Ingresar los datos en la aplicación OETB de Excel, para coordinar las protecciones eléctricas.

Tareas:

- a. Instalar en un computador la aplicación OETB de Excel, que es una aplicación gratuita del PhD. Orlys Ernesto Torres Breffe (de aquí aparecen las siglas de la aplicación de Excel).

- b. Ingresar correctamente los datos obtenidos de los conductores eléctricos de distribución y de los transformadores que se encuentran instalados.
- c. Correr la aplicación y obtener los datos que entrega la aplicación de Excel.
- d. Con los datos obtenidos comprobar su existencia en el mercado.
- e. Proceder a simular en la misma aplicación OETB de Excel y comprobar su correcto funcionamiento de la coordinación de protecciones eléctricas.

Luego de haber obtenido los datos, estas tareas se ejecutarán la modalidad especial de investigación proyecto factible, utilizando los datos obtenidos en la modalidad de campo y bibliográfica para el análisis de viabilidad del proyecto, para determinar el comportamiento de los componentes del sistema eléctrico existente y mediante los métodos de análisis y síntesis se obtienen datos reales en forma matemática de las protecciones existentes y mediante el método analítico se realizará la selectividad de las protecciones, esto será posible utilizando la técnica de cálculo para lo cual se utilizarán ecuaciones, el software Excel y ETAP 12.6 (Electrical Transient Analysis Program, versión 12.6)

VISIÓN EPISTEMOLÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN

a.- Paradigmas o enfoques epistemológicos

En este trabajo de investigación y desarrollo se utilizará el paradigma cuali-cuantitativo, con el fin de comprobar la hipótesis planteada, mediante la medición de los indicadores de cada una de las variables, además sobre la base de este diagnóstico se establecerán conclusiones, descripciones de los resultados de la investigación.

b.- Nivel de investigación

La metodología para esta investigación utilizará los siguientes niveles o tipos de investigación: Investigación exploratoria, descriptiva, correlacional (asociación de variables) y la explicativa.

La investigación exploratoria es una investigación básica, para recopilar información y para formular el problema de investigación relacionado a la coordinación de protecciones.

Una vez observado el comportamiento de las variables, es necesario describir el comportamiento de la variable dependiente, es decir cómo actúan los fusibles de protección.

Luego de haber descrito el comportamiento de las variables, se asociarán variables, para apreciar cómo se relacionan las variables, sea directamente o inversamente proporcional. Se correlacionará el comportamiento de la variable dependiente cuando se incrementa el valor de la capacidad de protección, así mismo se analizará su comportamiento cuando se reduce la capacidad de protección.

Finalmente luego de observar el comportamiento de las variables, se comprobará la hipótesis, misma que está encaminada a mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico.

c.- Alcance de la investigación según la acción del proceso

El alcance de esta investigación se enmarca en la coordinación de las protecciones eléctricas de medio voltaje, con el fin de garantizar una buena confiabilidad en el suministro de la energía eléctrica, a nivel de 13800 voltios en la red de distribución de la Base Aérea Cotopaxi, de la ciudad de Latacunga, en el año 2017.

DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS CAPÍTULOS

El presente proyecto de investigación y desarrollo se compone de cuatro capítulos, en el Capítulo I se describe la teoría en la que se fundamenta el proyecto, estos fundamentos servirán para abordar científicamente la problemática de las protecciones eléctricas. El Capítulo II se refiere a la metodología o la forma en la que se basarán las protecciones eléctricas, es decir se refiere a cómo se abordarán la selectividad de protecciones eléctricas. El Capítulo III contiene el levantamiento de la información, se determina el estado del sistema eléctrico, en este capítulo se aprecian las deficiencias de la coordinación de protecciones. Finalmente en el Capítulo IV se presentan las propuestas y mediante la aplicación OETB de Excel se establece la selectividad adecuada de las protecciones eléctricas, así como se visualiza el comportamiento de las protecciones iniciales frente a la propuesta. Finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación y desarrollo.

CAPÍTULO I

1. Marco contextual y teórico

1.1 Caracterización del objeto de la investigación

Todo sistema eléctrico debe disponer de protecciones eléctricas para evitar daños en los equipos de suministro de energía eléctrica. El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), mediante el ARCONELEC, en su Capítulo IV, establece el número cortes de energía eléctrica admisibles en una red de distribución, consecuentemente las empresas eléctricas basadas en esa disposición comunican a los usuarios, conocidos como grandes clientes, que las instalaciones eléctricas deben cumplir ciertos parámetros para su correcto funcionamiento. (CONELEC, 2001, págs. 5, 11)

El Plan Nacional del Buen Vivir, en su Objetivo 11 “Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica”, bajo este objetivo, promueve el suministro adecuado de energía eléctrica, es decir evitando interrupciones innecesarias. (PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR, 2013-2017, pág. 314)

En este caso de estudio, la coordinación de protecciones, va encaminado a cumplir lo establecido en las normas del MEER, así como a proveer bienestar del personal que labora en la institución, mediante un suministro continuo de energía eléctrica.

El sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi, fue construido hace aproximadamente 25 años cuyo diseño estaba dimensionado para trabajar con cargas eléctricas elevadas y con un nivel de voltaje de 69000 voltios, diseño realizado por la empresa HUARTE, en el año 1990, mismo que sirve como referencia para este trabajo, sin embargo debido a la no disposición de espacio físico para colocar un disyuntor a este nivel, se cambió el nivel del voltaje de 69000 voltios a 13800 voltios. (BASE AÉREA COTOPAXI, 2000)

Luego de a estos cambios se construyó una nueva red de distribución, así como su punto de derivación de la empresa eléctrica, antes debía abastecer desde la subestación San Rafael y hoy se hace desde la subestación La Cocha. Posterior a estos cambios debido al desarrollo técnico de la institución militar, se han incrementado cargas eléctricas, así como transformadores, mismos que necesariamente implican una revisión de las protecciones eléctricas aguas arriba, situación que no se han revisado por varios años, con las consecuencias de fallas de las protecciones ante sobrecargas o sobrecorrientes.

La coordinación de protecciones eléctricas por métodos computarizados, se hizo tan popular cuando el PhD. Orlys Ernesto Torres Breffe, (OETB) profesor cubano, compartió la aplicación en Excel para realizar este tipo de estudio. Con esta aplicación se pueden fácilmente obtener curvas de magnetización de transformadores, curvas de respuesta de los fusibles, así como de la capacidad de los conductores, para luego seleccionar y graficar la protección escogida

El objeto de estudio en este caso definido por el tramo de la línea de distribución a medio voltaje desde la subestación La Cocha hasta las instalaciones de la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea, tienen una relación definida y consistente, es así que la coordinación tiene que darse con datos de todos los accesorios que conforman la red y la confiabilidad de un buen servicio de igual forma está dentro del objeto.

1.2 Marco teórico

1.2.1 Protecciones eléctricas

“Se ha mencionado antes, que la función de los dispositivos de protección, es la detección de las condiciones de falla y el aislamiento del problema tan rápido como sea posible. La aplicación correcta de estos dispositivos de protección depende de varios factores que involucran estudios y experiencia en la protección de sistemas” (Enríquez Harper, 2003, pág. 395).

Desde este punto de vista se considera que todo sistema de generación debe disponer un mecanismo de protección asociado, caso contrario se estaría colocando en riesgo

el sistema de generación. Además se debe dar a importancia en su estudio, porque no debemos improvisar las protecciones.

1.2.2 Coordinación de protecciones eléctricas

“La información básica para el ajuste y coordinación de las protecciones eléctricas provienen de los estudios de flujo de carga, cortocircuito y los esquemas de protección. El estudio de flujo de carga es de gran importancia en la planeación y diseño de sistemas eléctricos de potencia, así como en la determinación de las mejores condiciones de sistemas existente”. (Fernández Flores, García Atiencia, & Villacís Tigrero, 2000)

En este artículo el autor relaciona al objeto del estudio de investigación, que son las redes de distribución, la misma que tiene la función del suministro de energía eléctrica desde la subestación hasta los usuarios finales.

Los niveles de voltaje establecidos por el ARCONELEC son:

Bajo voltaje: niveles de voltaje menores a 0,6 kV

Medio voltaje: niveles de voltaje superiores a 0,6 kV pero menores a 40 kV

Alto voltaje: niveles de voltajes superiores a 40 kV

Fuente: (CONELEC, 2001, pág. 5)

1.2.3 Confiabilidad del suministro de energía eléctrica

Referente a la calidad, consecuentemente a la confiabilidad del suministro de energía eléctrica, los objetivos del régimen eléctrico son:

- a) Garantizar servicio eléctrico de alta confiabilidad con desarrollo económico social.
 - b) Promover competitividad de mercados e inversiones en suministro a largo plazo.
 - c) Asegurar confiabilidad, igualdad y uso de servicios e instalaciones.
 - d) Reglamentar y regular la operación técnica/económica del sistema.
- (Salazar, 2001, pág. 4).

Aquí se aprecia que la calidad y la confiabilidad están estrechamente relacionadas, es decir en un diseño eléctrico deben considerarse estos aspectos

1.2.4 Transformadores

Un circuito en general y consecuentemente en un transformador se relacionan las tres potencias, potencia activa, reactiva y aparente, de la siguiente forma:

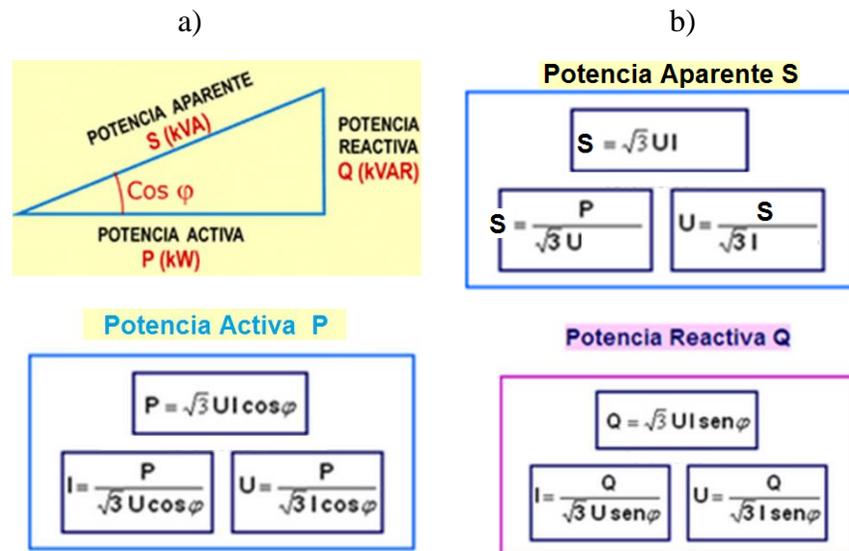


Figura 1.1 Relación de potencias: a) Triángulo de potencias b) Potencia aparente, c) Potencia activa d) Potencia reactiva

(Wendy, 2012)

En esta figura se aprecian las potencias relacionadas entre sí con un ángulo, el cual si determinamos la función trigonométrica coseno, se aprecia que están relacionadas por el factor de potencia fp , además se pueden apreciar las ecuaciones para cálculo de circuitos trifásicos.

“Para la selección adecuada de los cortocircuitos y de relevadores de protección se debe estimar la magnitud de las corrientes que fluirán en condiciones de cortocircuito” (Kothari, 2008, pág. 327)

Cortocircuitos.

Según Brokering – Palma, los cortocircuitos son los defectos provocados por un contacto entre conductores o entre un conductor y tierra. Los cortocircuitos monofásicos (una fase con tierra son los más frecuentes).

(Brokering, Palma, & Vargas, 2008, pág. 248)

Según Harper, la corriente de falla a tierra se puede calcular como:

$$I_f = 3V / (Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_N) \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Dónde: V = Voltaje de línea a neutro

Z_1 = Impedancia de secuencia positiva

Z_2 = Impedancia de secuencia negativa

Z_0 = Impedancia de secuencia cero

Z_N = Impedancia de conexión a tierra del neutro

(Enríquez Harper, 2003, pág. 64)

Dimensionamiento de protecciones eléctricas

El dimensionamiento de las protecciones eléctricas y el proceso de calibración de los relés están en función de la carga o sobrecarga aplicadas y de las corrientes de cortocircuito.

Impedancia de líneas y transformadores

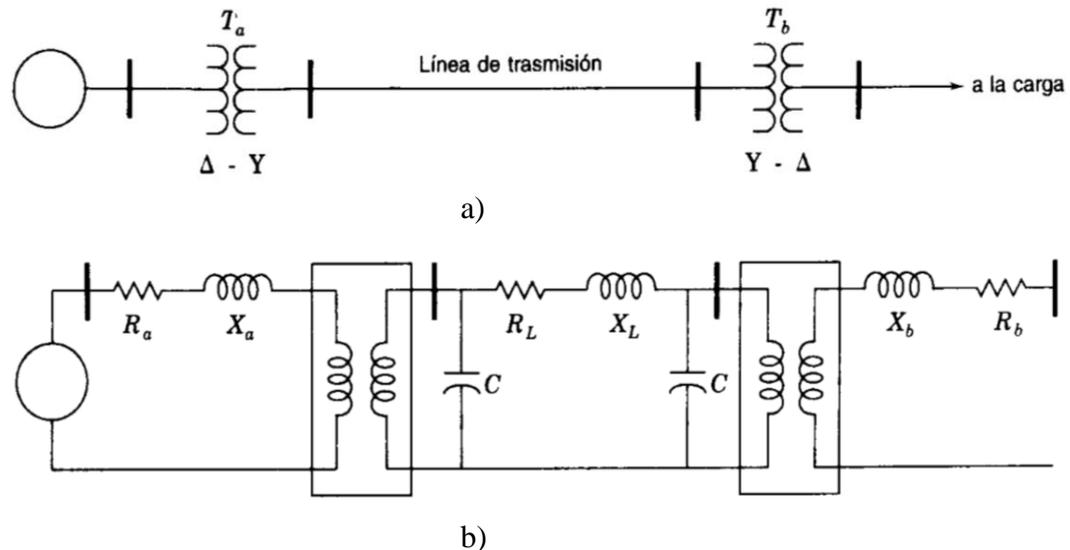


Figura 1.2 Diagrama unifilar y circuito equivalente de transformador y línea de transmisión.

a) Diagrama unifilar b) Circuitos equivalentes monofásicos

(Grainger, 1996, pág. 64)

En la figura 1.2 a) se aprecia un diagrama unifilar de un circuito trifásico que contiene transformadores y líneas de transmisión. En la parte b) se aprecian las impedancias resultantes.

Impedancia de líneas eléctricas:

Según Grainger –Stevenson, una línea de transmisión de electricidad tiene cuatro parámetros que afectan su capacidad: resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia. (Grainger-Stevenson, 1996, pág. 131)

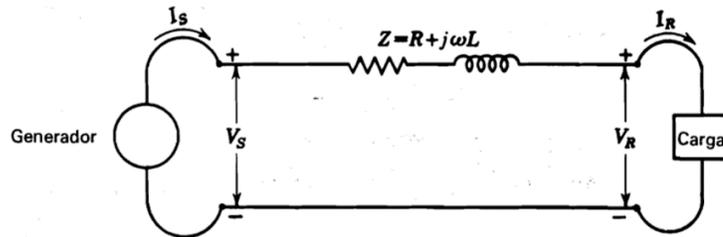


Figura 1.3 Circuito equivalente de una línea de transmisión corta
(Grainger-Stevenson, 1996, pág. 184)

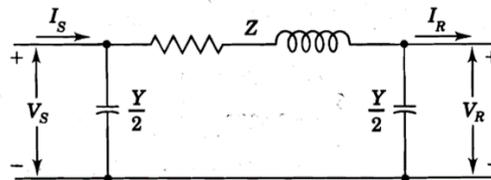


Figura 1.4 Circuito nominal π de una línea de transmisión de longitud media
(Grainger-Stevenson, 1996, pág. 188)

Según Antonio Gómez Expósito, una línea trifásica equilibrada se caracteriza por tener impedancia serie o longitudinal (Z_1) y admitancia shunt o transversal (Y_1), las mismas que están dadas por las siguientes ecuaciones: (Gómez Expósito, 2004, pág. 41)

$$Z_1 = R_1 + jL_1\omega \quad [\Omega / \text{km}] \quad \text{Ecuación 1.1}$$

$$Y_1 = G_1 + jC_1\omega \quad [\text{S} / \text{km}] \quad \text{Ecuación 1.2}$$

En este circuito se puede determinar la impedancia característica de la siguiente forma:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j \cdot L\omega}{G + j \cdot C\omega}}$$

Ecuación 1.3

Donde:

Z_0 = Impedancia característica en ohmios.

R = Resistencia de la línea en ohmios por unidad de longitud.

C = Capacitancia de la línea en faradios por unidad de longitud.

L = Inductancia de la línea en henrios por unidad de longitud.

G = Conductancia del dieléctrico en siemens por unidad de longitud.

ω = Frecuencia angular = $2\pi f$, siendo f la frecuencia en hercios

j = Factor imaginario

Además Antonio Gómez Expósito, cita que: en líneas de transporte las pérdidas son relativamente pequeñas y para determinados tipos de análisis pueden despreciarse. Resulta así un modelo que se obtiene haciendo $R=0$, $G=0$, por lo tanto la impedancia característica es puramente resistiva y se reduce a:

$$Z_0 = R_0 = \sqrt{L_1/C_1}$$

Ecuación 1.4

(Gómez Expósito, 2004, pág. 42)

Impedancia de transformadores:

Según Grainger se establece la siguiente equivalencia del circuito:

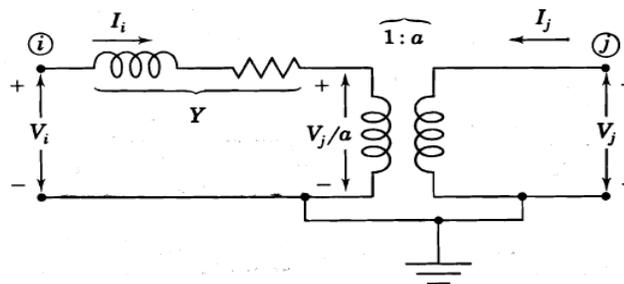


Figura 1.5 Diagrama de un transformador ideal

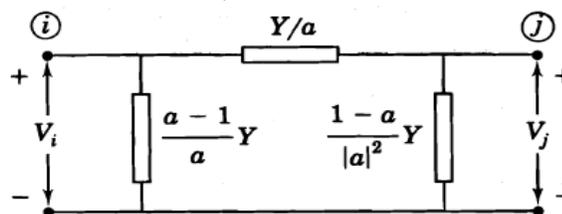


Figura 1.6 Circuito equivalente de un transformador

(Grainger, 1996, pág. 341) Ver figuras No. 1.5 y 1.6

Se establecen las siguientes ecuaciones: (Grainger, 1996, pág. 343)

$$\begin{bmatrix} I_1^{(a)} \\ I_2^{(a)} \end{bmatrix} = \begin{matrix} \textcircled{1} & \textcircled{2} \\ \begin{bmatrix} Y & -Y \\ -Y & Y \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{matrix} \textcircled{1} & \textcircled{2} \\ \begin{bmatrix} -j10 & j10 \\ j10 & -j10 \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

Ecuación 1.5

Corriente de cortocircuito

Para determinar una falla a tierra se deben tomar en cuenta tres impedancias:

- Impedancia de secuencia positiva
- Impedancia de secuencia negativa
- Impedancia cero
-

Se aplica la ecuación 1.1

1.2.5 Misión e importancia de las protecciones eléctricas

La misión de las protecciones eléctricas es desconectar tan rápido como sea posible y necesario la parte del sistema que esté averiada. La importancia radica en evitar daños mayores en el elemento averiado y la propagación de estos daños a otros elementos del Sistema Eléctrico de Potencia (SEP)

Existen aspectos dentro de las protecciones eléctricas que son necesarios conocer, como:

- 1.- Selectividad: a) absoluta b) relativa
- 2.- Sensibilidad
- 3.- Coordinación

La selectividad según Enríquez Harper, es el proceso mediante el cual se debe desconectar solo la parte en falla o la parte afectada. (Harper, 2003, pág. 404)

Selectividad absoluta.- Las protecciones eléctricas tienen una propiedad o misión fundamental, que es la desconexión del elemento averiado, pero sólo de este elemento, sin necesidad de desconectar a otros elementos adyacentes.

Selectividad relativa.- En ocasiones, pero sólo como respaldo, se necesita que las protecciones desconecten o no desconecten el circuito de alimentación de ciertas zonas de sistemas adyacentes a ellos, en el caso de que sus protecciones no actúen

Sensibilidad.- Según Brand, la sensibilidad es la característica que debe tener un sistema de protecciones de modo que opere holgadamente bajo cualquier condición de falla máxima o mínima. Según Orlys Torres, la sensibilidad no es más que la protección o accionar ante el fallo y se verifica a través de una constante que relaciona el fallo mínimo que se puede dar en ese elemento y el ajuste que tenga la protección. (Brand-Moncada, 1976, pág. 35). (TORRES, 2000, pág. 8)

En el caso de las simples protecciones de sobre corriente, el coeficiente de sensibilidad se calcula de la siguiente forma: (TORRES, 2000, pág. 8)

$$K_S = \frac{I_{cc \text{ mín}}}{I_{ajuste}} \quad \text{Ecuación 1.6}$$

Donde:

K_S = coeficiente de sensibilidad

$I_{cc \text{ mín}}$ = corriente mínima de cortocircuito

I_{ajuste} = valor de ajuste de la corriente de protección

$I_{cc \text{ mín}}$ es el punto inicial (o sea donde va a sentir el breaker termo magnético)

I_{ajuste} es la I a la cual debe disparar (el breaker)

$$I_{cc \text{ mín}} > I_{ajuste}$$

El coeficiente K_S será mayor que la unidad solo cuando la protección es sensible, dado que el menor valor de la magnitud de la corriente de cortocircuito supera al ajuste en ella establecida.

1.2.6 Coordinación de protecciones.

“Es el proceso de selección de ajustes o curvas características de dispositivos de protección, de tal manera que la operación de los mismos se efectúe organizada y

selectivamente, en un orden específico y con el mínimo tiempo de operación, para minimizar la interrupción del servicio y aislar adecuadamente la menor porción posible del sistema de potencia como consecuencia de la falla” (González, Arias, & Tobón, 2000, pág. 13)

“El proceso de coordinación de protecciones se inicia con la elaboración de un diagrama unifilar y consiste en un análisis gráfico para probar la selectividad”. (Harper, 2003, págs. 396-397).

Es un término que aparece en aquellas protecciones con selectividad relativa y que garantiza que para el caso de las protecciones de respaldo operarán desplazados en el tiempo, con respecto a las protecciones principales del elemento en cuestión.

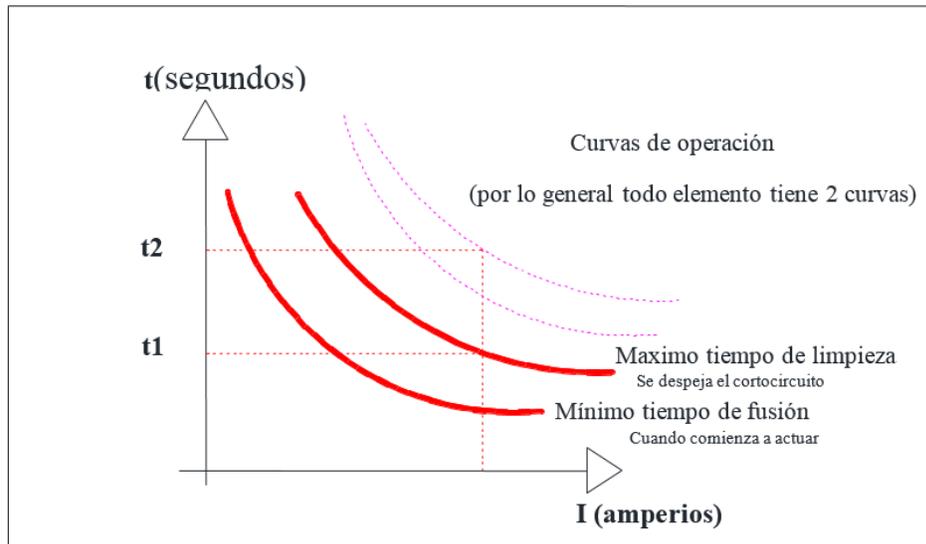


Figura 1.7 Curva hipotética de operación de fusibles

Fuente: Investigador ACOSTA Hernán, adaptado de Material 4 Orlys Torres, pág. 4

En la figura 1.7 la coordinación de protección dice que se debe tener otra protección aguas arriba.

Para que exista coordinación entre dos elementos protectoras $t_2 > t_1$

Esto en la protección relativa, en la protección absoluta tiene un solo elemento de protección.

1.2.7 Dispositivos de protección

Los dispositivos de protección se clasifican en

- a) Dispositivos primarios
 - Fusibles
 - Interruptores Automáticos
 - Recerradores
- b) Dispositivos secundarios: Relés

(TORRES, 2000, pág. 2)

Dispositivos primarios – fusibles.- Son dispositivos que tienen el más sencillo de los funcionamientos posibles. Cuando una gran corriente pasa a través del fusor o lámina fusora, entonces se genera una alta temperatura que logra fundirla, quedando así desconectada la fase averiada. Los fusibles no pueden ajustarse, sólo se seleccionan., es decir, que el objetivo radica en hacer una buena selección del fusible para la protección contra determinado defecto que por lo general es el cortocircuito. (TORRES, 2000, págs. 3-5)

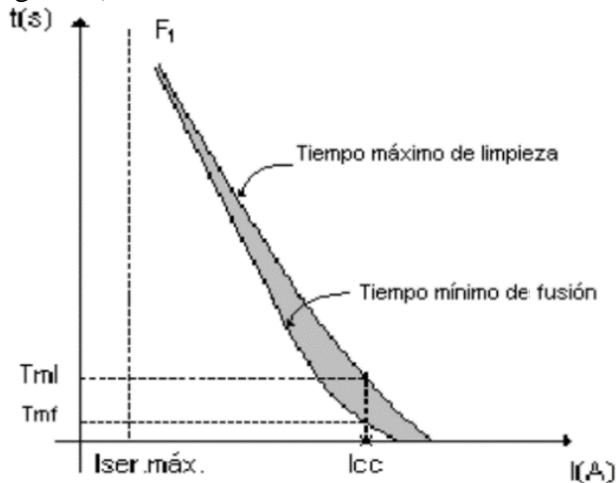


Figura 1.8 Característica hipotética de temporización de un fusible

Fuente: Dispositivos de protección, material 4. TORRES, Orly

Dispositivo secundario – relé.- “constituye un dispositivo que se conecta al secundario de los transformadores de medición (corriente o voltaje) y sirve para accionar directa o indirectamente al interruptor, que en este caso no será automático.” (TORRES, 2000, pág. 9)

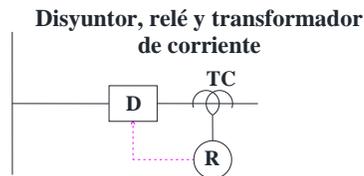


Figura 1.9 Ejemplo de un diagrama de conexiones con relé

Fuente: Investigador ACOSTA Hernán, adaptado de Material 4 Orlys Torres

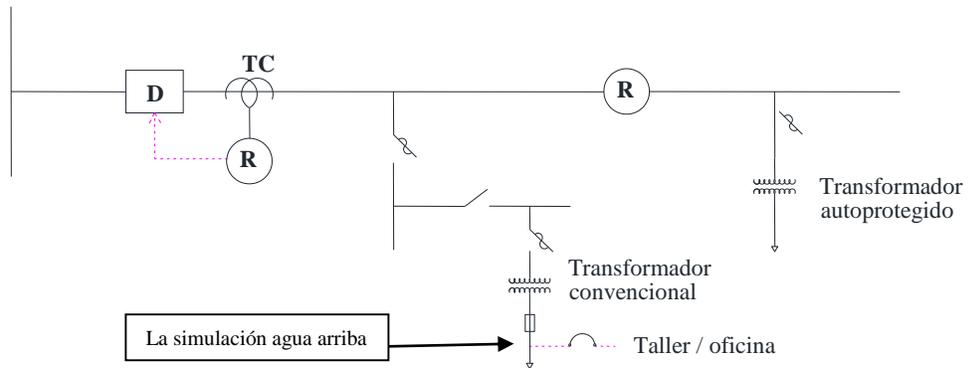
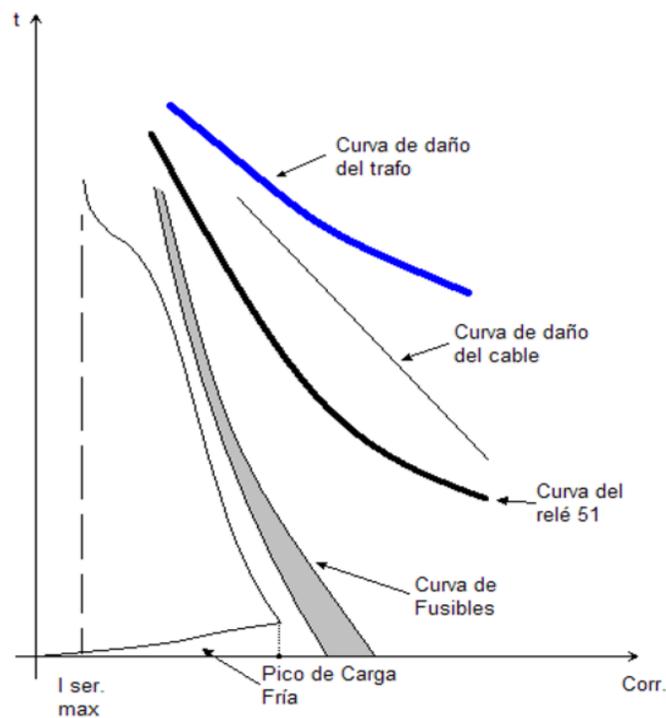


Figura 1.10 Diagrama de un SEP con fusibles y relé

Fuente: Investigador ACOSTA Hernán, adaptado de Material 4 Orlys Torres



Fuente: TORRES Orlys, La protección de los alimentadores de distribución, pág 23

Figura 1.11 Esquema de tiempo corriente de las exigencias de un relé temporizado

1.2.8 Características de los elementos de protección.

Una protección mal ajustada, mal calibrada o mal seleccionada, puede desconectar parte del sistema eléctrico en forma errónea, sin que haya ocurrido ningún fallo se llaman falsas operaciones y operaciones incorrectas se clasifican de forma general en los siguientes aspectos:

- 1.- La protección actúa sin haber avería en su zona de protección.
 - 2.- La protección no actúa cuando ocurre una avería en su zona de protección
 - 3.- La protección actúa cuando ocurre una avería pero lo hace muy lentamente
- (TORRES O. , 2000, pág. 14)

La misión de las protecciones eléctricas es dar seguridad al usuario y a los equipos.

Es necesario la curva de operación de los fusibles y de los interruptores termomagnéticos para coordinar las protecciones.

Los breakers y los fusibles se definen en base a los niveles de cortocircuito. No se obtienen ni en base a la corriente ni en base a la carga.

Si no actúan los breakers o los fusibles, deben actuar las protecciones aguas arriba.

Se calcularán cortocircuitos: simétricos (3ϕ) y asimétricos (monofásico, bifásico a tierra, bifásico F-F)

Hace falta poner una protección diferencial que detecte fugas de corriente, la protección diferencial es un dispositivo aparte de este tema de estudio. La I de falla debe ser de bajo valor, en el orden de 6 mA, aunque en el mercado la protección mínima es de 40 mA.

1.2.9 Corrientes de inrush.

Según Enríquez Harper, la corriente de inrush es la corriente de magnetización y producen una condición transitoria que ocurre cuando se energiza una carga

inductiva, en este caso específico, los transformadores. Un transformador en régimen normal estabilizado puede consumir una corriente que depende de su cargabilidad (de lo que esté conectado), en un momento dado, estas corrientes van desde cero hasta valores nominales.

Existen regímenes transitorios en el transformador que provocan que las corrientes por un tiempo pequeño alcancen magnitudes muy elevadas. Las corrientes alcanzan valores extremadamente elevados en los primeros ciclos y rápidamente comienzan a disminuir. Cuando energizamos un transformador, hay picos altos, este pico alto puede quemar el tirafusible. La corriente inrush son picos de corriente. La corriente inrush es aleatoria y depende de la disposición de los dipolos del núcleo magnético.

Si los dipolos del núcleo están ordenados, dan camino a las líneas de fuerza y ahí no ocurre el inrush. Si los dipolos del núcleo no están ordenados, no dan camino a las líneas de fuerza y si ocurre el inrush.

Según Orlys Torres, el inrush depende del ángulo en donde se produce el cierre o conexión, o sea el ángulo en donde se energiza.

Orlys Torres también refiere que, otro factor que provoca que las corrientes de inrush varíen es el nivel de carga o corriente en el momento de la energización. Esto quiere decir que si tengo el 90% de la Inominal, la corriente de inrush también se reducirá. En sistemas que haya caída de voltaje, los equipos cercanos a la S/E tendrán más inrush porque el nivel de voltaje es alto y el inrush será menor en lugares lejanos debido a la caída de voltaje.

Por lo tanto hay dos causas por las que pueda variar el inrush, por el ángulo donde se produce el cierre o conexión y por el nivel de voltaje

Las protecciones eléctricas no deberían sensar esta corriente de inrush.

El fenómeno inrush también se presenta por la conexión de otro transformador en paralelo y se llama inrush por simpatía.

INRUSH POR SIMPATÍA

Se da a nivel de transformadores de grandes potencias.

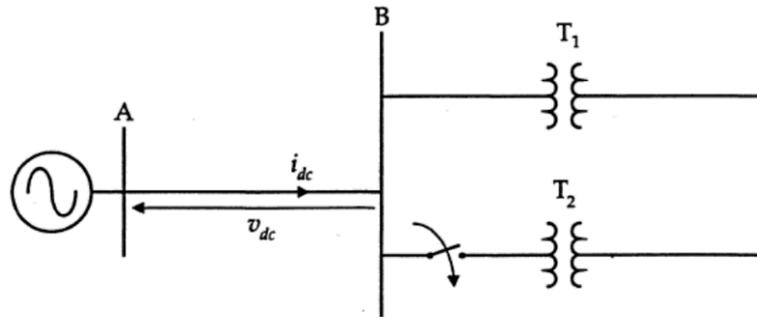


Figura 1.12 Inrush por simpatía

Fuente: Tomado de (Torres Breffe, Protecciones de los sistemas eléctricos de distribución. Conferencia2. Regímenes normales, 2012)

En la figura 1.10 T1 ya está funcionando, cuando T2 se conecta, aumenta el voltaje y se produce inrush (el inrush depende del nivel de voltaje).

Para que no ocurran las fallas por simpatía se deben colocar señalizadores de falla (solo sensa fallas, o sea solo sensa cortocircuitos, no sensa inrush). Los fusibles deben quemarse con la I de cortocircuito, no deben quemarse en la I nominal., por lo tanto se deben colocar fusibles más lentos, en conclusión se deben colocar los fusibles adecuados.

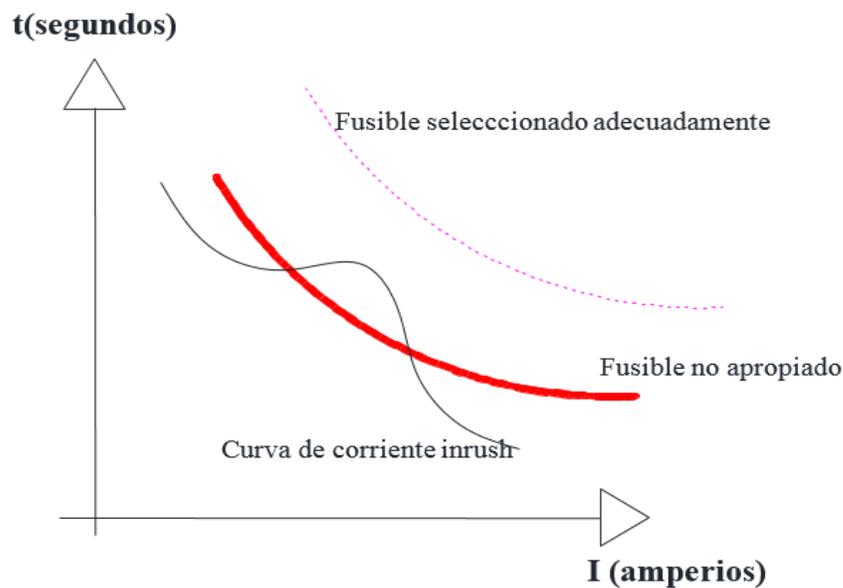


Figura 1.13 Curva de operación de fusibles

Fuente: Investigador ACOSTA, Hernán, adaptado de Material 4 Orly Torres

1.2.10 Picos de cargas frías.-

Cuando se energiza una línea eléctrica a nivel de s/e o un ramal secundario que alimenta a varios consumidores y que tenía mucho tiempo de estar desconectado, una gran corriente puede producirse. Cuando se desconecta un alimentador por mucho tiempo, las cargas tales como neveras y refrigeradoras pueden perder el nivel de temperatura y cuando se energiza la corriente se incrementa entre 3 y 6 veces el valor nominal. (Torres Breffe, Protecciones de los sistemas eléctricos de distribución. Conferencia2. Regímenes normales, 2012)

1.2.11 Fusibles.

El medio más sencillo de interrupción automática de corriente en caso de cortocircuitos o sobrecargas es el fusible. Un fusible no tiene un tiempo único para su operación, sino por el contrario éste depende del nivel de la corriente que lo atraviesa, para corrientes mayores hay mayor temperatura y por lo tanto más rápida es la fusión, por todo lo contrario ocurre para corrientes menores, hay menores temperaturas y por lo tanto más lenta es la fusión. (Brand-Moncada, 1976, pág. 141)

Es decir el tiempo de operación es inversamente proporcional a la corriente:

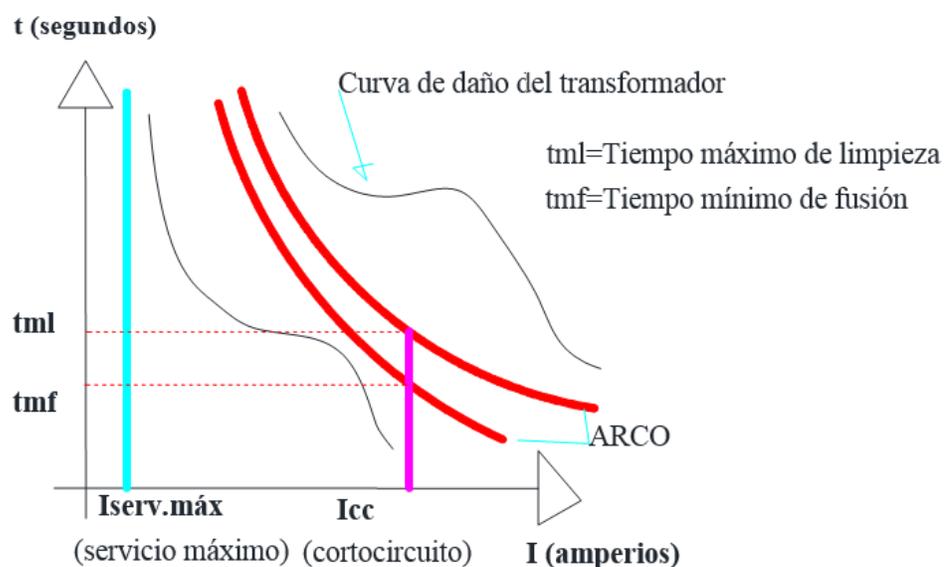


Figura 1.14 Curva de operación de fusibles

Fuente: Investigador ACOSTA Hernán, adaptado de Conferencia 7- Orly Torres

En la figura 1.12 se indican los datos que se deben conocer para coordinar las protecciones. La curva del fusible debe estar sobre curva de la I inrush y debajo de la curva del daño del transformador.

TIPOS DE FUSIBLES

Existen fusibles de numerosas definiciones o normativas, por ejemplo tipo: K, T, Ns, H, E, entre otras, estas letras representan las características de inversión de las curvas.

Los fusibles tipo K son más rápidos y se emplean en las redes de distribución, al igual que los de tipo T, el resto de fusibles se utilizan generalmente en protecciones de transformadores.

Los fusibles jamás se accionan para la corriente que las caracteriza, es decir un fusible de 100 A jamás se fundirá para una corriente igual a esta.

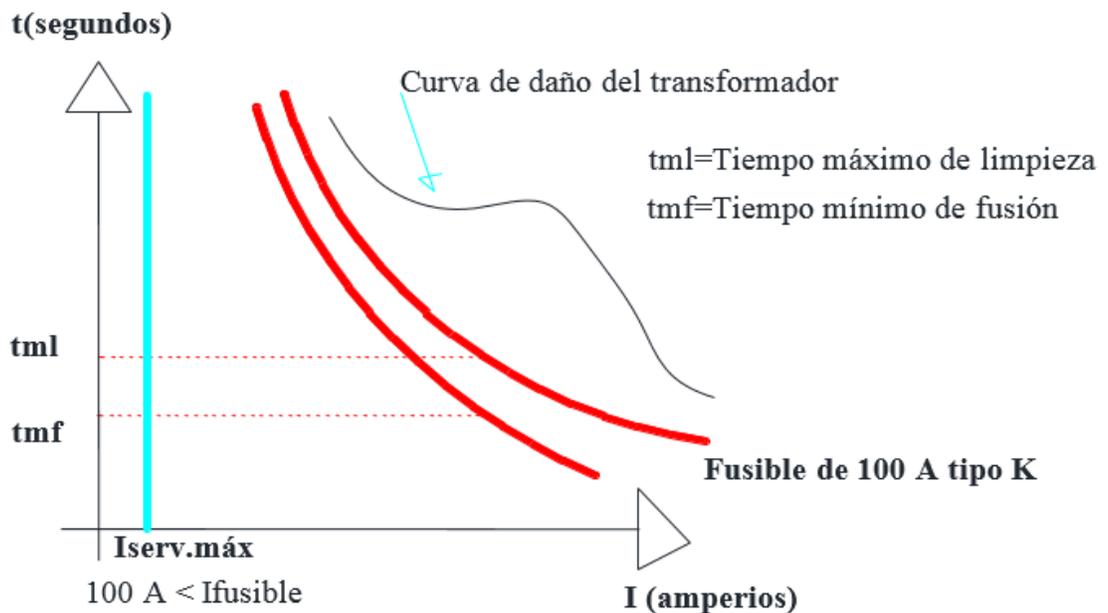


Figura 1.15 Curva de operación de fusibles tipo K, T

Fuente: Investigador ACOSTA Hernán, adaptado de Conferencia 7- Orly Torres

1.2.12 Selección de fusibles para redes de distribución

Los fusibles no deben accionar a la corriente de SERVICIO MÁXIMA en régimen estable y transitorio permisible, además el fusible que se esté seleccionado debe ser más lento que la protección contra cortocircuito adyacente.

Según Raúl Ruiz, el tiempo de operación del fusible aguas arriba debe ser como máximo el 75% del tiempo del fusible aguas arriba. (Ruiz, 2013, pág. 5)

Matemáticamente debe cumplirse que $I_{\text{fusible}} > I_{\text{servicio máxima}}$

$$t_{mf(n)} * 0.75 > t_{ml(n-1)}$$

Ecuación

1.7

Donde:

Ifusible = corriente del fusible Ejemplo. Fusible de 100 A

Iservicio máximo = corriente de servicio máximo que puede circular por el fusible

n= es la identificación del fusible seleccionado

n-1= es la identificación del fusible adyacente.

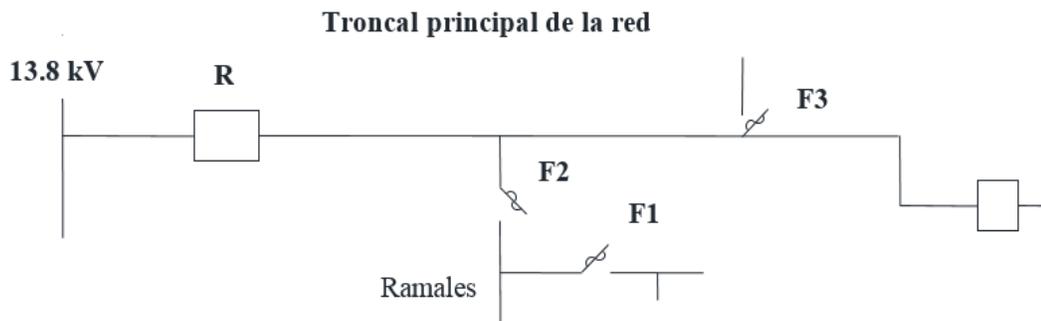


Figura 1.16 Esquema en distribución con tres fusibles

Fuente: Investigador ACOSTA Hernán, adaptado de Material 4 Orly Torres

En la figura 1.14 se tiene:

F1 es adyacente del fusible F2

F2 no debe estar cercano a F1, porque se pueden activar los dos fusibles.

Cuánto más lejano será? $t_{mf}(2) * 0.75 > t_{ml}(1)$

En la troncal principal no hay fusibles, si existieran cortocircuitos activaría el reconector.

Es difícil coordinar cuando se tienen mal distribuidas las protecciones

Un fusible cercano al reconector protege al cable que no se dilate.

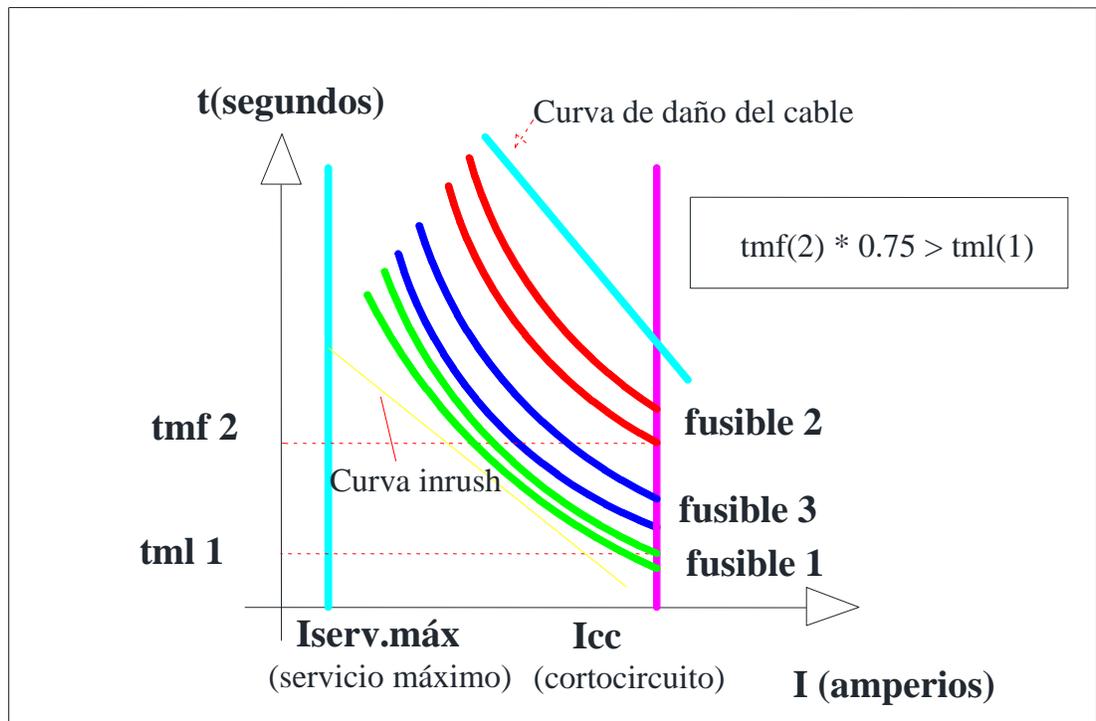


Figura 1.17 Curva de operación de tres fusibles, para cortocircuito en el punto F1

Fuente: Investigador ACOSTA Hernán, adaptado de Conferencia 7- Orlys Torres

Adyacente de F2 es R

Adyacente de F3 es R

Cuál escoger como adyacente apropiado? -- El de mayor CORRIENTE.

Pero también hay que ver cuál es la condición más crítica: si es por cortocircuito (el más cercano es el cc alto y el lejano es el cc bajo), o si es por $I_{m\acute{a}x}$.

Según Enríquez Harper, la metodología de las coordinaciones de protecciones es la siguiente:

- 1.- Se debe tener el diagrama unifilar del sistema por estudiar (el circuito eléctrico con calibres, resistencia).
- 2.- Determinación de máximas corrientes de carga que se tendrán en condiciones normales.
- 3.- Efecto de las corrientes de magnetización (inrush current).
- 4.- Curvas de daño de los transformadores.
5. Límite térmico de conductores.

(Enríquez Harper, 2003, pág. 430)

Adicional,

- 6.- Se debe tener las corrientes de cortocircuito en todos los nodos donde haya fusible.
- 7.- Disponer las curvas de los fusibles.
8. Desarrollar la coordinación.

1.3 Conclusiones del Capítulo. I

- 1.- El adecuado suministro de energía eléctrica está regulado mediante el Plan Nacional del Buen Vivir, es decir el estado se preocupa por el suministro continuo de energía eléctrica.
- 2.- Para determinar las impedancias de un sistema eléctrico, éste debe ser transformado a un circuito equivalente y de esta forma se obtiene la impedancia total del sistema.
- 3.- Las protecciones eléctricas se coordinan considerando la corriente de inrush y la de daño térmico del transformador y del conductor con el fin de evitar cortes innecesario.
- 4.- Las protecciones eléctricas se implementan para proteger al personal que ejecuta actividades directas con el suministro de energía eléctrica y a los equipos adyacentes.

CAPÍTULO II:

2. Metodología

La confiabilidad del sistema eléctrico afecta a todos los usuarios de un sistema eléctrico, por lo tanto las encuestas realizadas, todos concuerdan que siempre ha habido cortes inesperados, lo cual interrumpe el ambiente de trabajo produciéndose cuantiosas pérdidas debido al corte de energía eléctrica. Adicional a la demostración de inconformidad por los cortes, han solicitado a la empresa eléctrica que realice una inspección para determinar las causas de las suspensiones inesperadas.

Ante esta situación se ha visto necesario revisar completamente el sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi, y luego se implementaron varias protecciones, las cuales están funcionando y ofrecen una buena confiabilidad del sistema.

2.1 Modalidad de la investigación

En la presente investigación se utilizó la investigación de campo, bibliográfica, modalidad especial – proyecto factible.

El investigador argumenta que esta modalidad se utilizó, en vista de que tiene que realizar un estudio sistemático en el lugar de los hechos, para lo cual se realizó un levantamiento de la información, es decir se realizó un inventario de las instalaciones existentes.

La investigación bibliográfica es la parte fundamental de esta investigación, por cuanto se indagó sobre temas científicos necesarios, así como encontrar aplicaciones que permitan cumplir el objetivo propuesto. Es así como se investigó sobre la aplicación de Excel y el software ETAP 12.6

En la modalidad especial de proyecto factible, se utilizaron los datos obtenidos en la modalidad de campo y bibliográfica, para el análisis de viabilidad del proyecto, es decir para demostrar que la nueva implementación de coordinación de protecciones eléctrica es factible.

2.2 Diseño metodológico

La metodología para esta investigación utilizaron los siguientes niveles o tipos de investigación: Investigación exploratoria, descriptiva, correlacional (asociación de variables) y la explicativa.

La investigación exploratoria es una investigación básica, para recopilar información y para formular el problema de investigación relacionado a la coordinación de protecciones. Una vez observado el comportamiento de las variables, se describió el comportamiento de la variable dependiente, es decir cómo actúan los fusibles de protección.

Luego de haber descrito el comportamiento de las variables, se asociaron variables, para apreciar cómo se relacionan las variables, sea directamente o inversamente proporcional. Se correlacionó el comportamiento de la variable dependiente cuando se incrementa el valor de la capacidad de protección, así mismo se analizó su comportamiento cuando se reduce la capacidad de protección.

Finalmente luego de observar el comportamiento de las variables, se comprobó la hipótesis, misma que está encaminada a mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico.

2.3 Método de investigación

Los métodos o procedimientos para llegar a cumplir los objetivos, demostrar la hipótesis y para llegar a la solución del problema aplicados en esta investigación son la observación, inductivo y deductivo. El método de observación se utilizó como punto de partida de nuestra investigación, para conocer el problema y establecer sus causas. Se realizaron mediciones de parámetros como voltaje y potencia del consumo energético de la red.

Luego de determinar las causas que originan una sobrecarga en una protección eléctrica, se procedió a analizar la causa que provoca una actuación de las protecciones eléctricas. El método analítico permitió llegar al problema de la investigación y de esta forma seleccionar adecuadamente su capacidad de protección y mejorar la confiabilidad del suministro de energía.

2.4 Técnicas e instrumentos de la investigación

Las técnicas para recolectar la información utilizada son: la encuesta, la medición, el cálculo y la técnica del software.

La técnica de la encuesta consta de dos preguntas, la primera pregunta está relacionada con qué tipo de corte de energía eléctrica ha ocurrido, inesperado o programado, cabe mencionar que los cortes inesperados están directamente relacionados con las descoordinaciones de protecciones eléctricas. La otra pregunta se refiere a si interrumpe el ambiente de trabajo un corte inesperado de energía eléctrica.

La técnica de medición utiliza como instrumento el analizador de energía y el multímetro, mediante los cuales se han obtenido valores de potencia y corriente de los transformadores.

La técnica del cálculo utiliza las ecuaciones de potencia trifásica, descritas en la sección 1.2.4 Transformadores, para determinar los diferentes parámetros de las protecciones a ser reemplazadas.

La técnica del software utiliza el Excel para dibujar las curvas de fusibles. Utilizando una aplicación de Excel, facilitado por el PhD. Orlys Ernesto Torres Breffe (OETB), con los datos que se obtienen en la investigación de campo, se procedió a graficar, mismo que arroja resultados de curvas para luego determinar su tiempo de respuesta en segundos (s) o milisegundos, entre el eje x y el eje y:

Para utilizar esta aplicación, se disponen los datos de placa de los transformadores, así como las características de las líneas de derivación. En base a la comparación de fusibles y las características de los transformadores, se elaboran curvas similares:

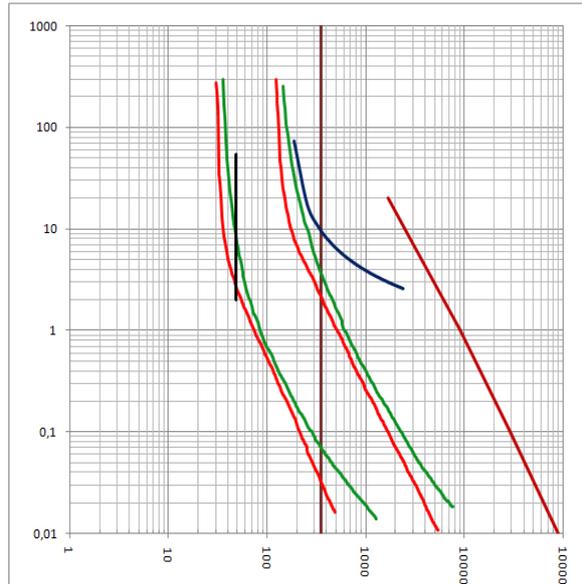


Figura 2.1 Ejemplo de curva de saturación de un transformador y conductores adjuntos

Fuente: Investigador ACOSTA, Hernán

Otra técnica del software utiliza el ETAP 12.6, para simular el comportamiento de un sistema

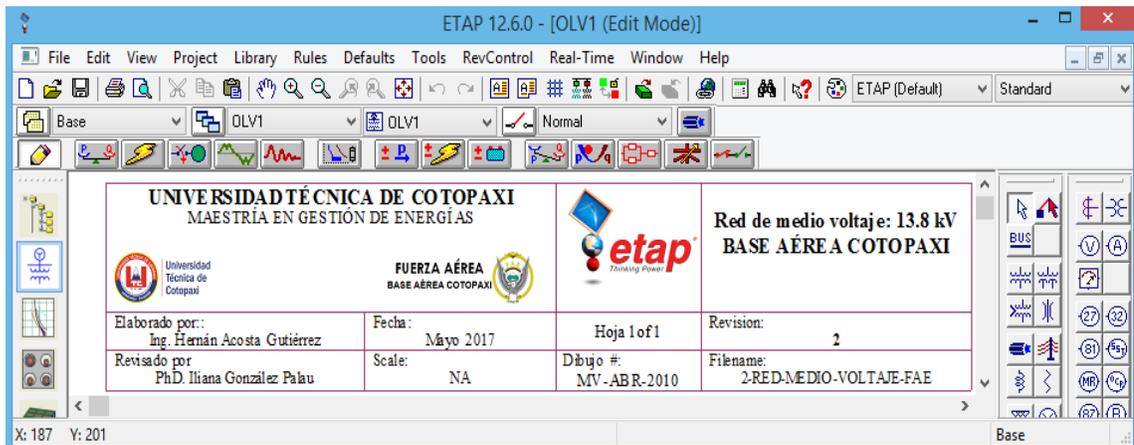


Figura 2.2 Software ETAP 12.6 – Electric Transient Analysis Program

Fuente: (Tubbs, 2009)

Este software permitió simular un circuito eléctrico y así obtener fácilmente los parámetros para ingresar a la aplicación OETB de Excel.

Las protecciones eléctricas se obtuvieron mediante la aplicación OETB de Excel, la cual es una herramienta de fácil manejo y permite seleccionar adecuadamente los fusibles de protección por cuanto permite visualizar su comportamiento. Además en la coordinación de protecciones con fusibles de línea, esta aplicación ofrece excelente selectividad comparado con el software ETAP 12.6 el cual únicamente ofrece valores totales de corrientes

2.4.1 Coordinación de protecciones – programa Excel

La coordinación de protecciones eléctricas utilizando la aplicación OETB de Excel, dispone de las siguientes opciones de entradas:

Tabla 2.1 Pantalla de ingreso de datos de fusibles existentes en el mercado local

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
2																
3	Fusibles K		Fusibles T		Fusibles H		Fusibles Dual		Fusibles B							
4	1K	0	1T	0	1H	0	0.4	0		B1	0					
5	2K	1	2T	0	2H	0	0.6	0		B2	0					
6	3K	0	3T	0	3H	0	0.7	0		B3	0					
7	6K	0	6T	0	6H	0	1	0		B4	0					
8	8K	0	8T	0	8H	0	1.3	0		B5	0					
9	10K	0	10T	0	10H	0	1.4	0		B6						
10	12K	0	12T	0	12H	0	1.6	0		B7						
11	15K	0	15T	0	15H	0	2.1	0		B8						
12	20K	0	20T	0	20H	0	3.1	0		B9						
13	25K	0	25T	0	25H	0	3.5	0		B10						
14	30K	0	30T	0	30H	0	4.2	0		B11						
15	40K	0	40T	0	40H	0	5.2	0		B12						
16	50K	0	50T	0	50H	0	6.3	0		B13						
17	65K	0	65T	0	65H	0	7.8	0		B14						
18	80K	0	80T	0	80H	0	10.4	0								
19	100K	0	100T	0	100H	0	14	0								
20	140K	0	140T	0			21	0								
21	200K	0	200T	0												
22																
23																
24	Corriente de Cortocircuito					Corriente de Inrush y Carga Fría										
25	Maxim	3000			0	Corriente	80	0								
26	Míimim	1000			0											

Fuente: Aplicación OETB Excel

Tabla 2.2 Pantalla de ingreso de datos de transformadores existentes en el mercado.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
27														
28	Transformador Monofásico							Relés de Sobrecorriente						
29	Sn(kVA)	15							Corriente Instantánea (A)	642	0			
30	Un(kV)	7.96							Tiempo Interrupción (Ciclos)	3				
31	In(A)	1.88							(s)	0.05				
32	Curva Inrush-Carga Fría				0				Corriente Temporizada (A)	270				
33	Curva Daño Térmico				0				Palanca de Tiempo	1				
34									ANSI E-I	0				
35	Transformador Trifásicos								ANSI M-I	0				
36	Sn(kVA)	30							ANSI I	0				
37	Un(kV)	13.8							ANSI ST	0				
38	In(A)	1.26							IDMT NI	0				
39	Curva Inrush-Carga Fría				1				IDMT VI	0				
40	Curva Daño Térmico				1				IDMT EI	0				
41									IDMT LT	0				
42									RI	0				
43	Curva Térmica ACSR								RXIDG	0				
44	Calibre 1 - 6 AWG				0									
45	Calibre 2 - 4 AWG				0									
46	Calibre 3 - 2 AWG				0									
47	Calibre 4 - 1/0 AWG				0									
48	Calibre 5 - 2/0 AWG				0									
49	Calibre 6 - 3/0 AWG				0									
50	Calibre 7 - 4/0 AWG				0									

Fuente: Aplicación OETB Excel

En las tablas 1.1 y 1.2 se indican las celdas que se debe ingresar valores de los transformadores e inmediatamente aparece en el lado derecho de la hoja de Excel, una curva de los valores ingresados.

En este caso aparece lo siguiente;

- Curva de daño térmico. (violeta)
- Curva inrush – carga fría (celeste)
- Curva de tiempo mínimo de fusión (rojo)
- Curva de tiempo máximo de limpieza (verde)

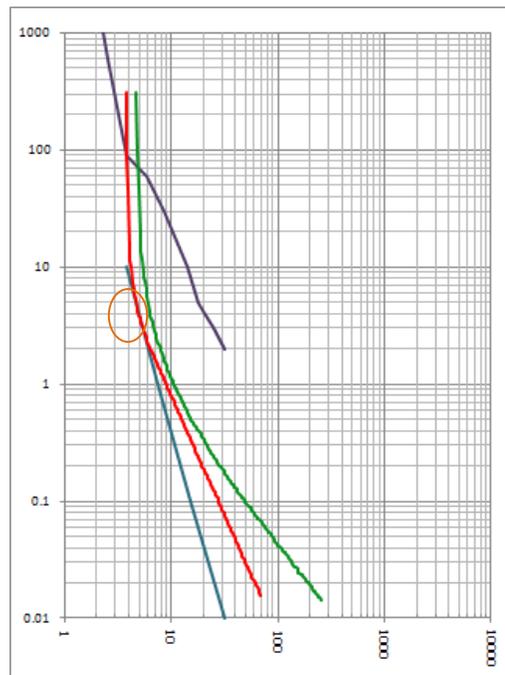


Figura 2.3 Curva típica de un fusible y de un transformador

Fuente: Aplicación OETB Excel

2.4.2 Protecciones para transformadores

- 1.- Hay varios tipos de transformadores monofásicos (1Ø) y trifásicos (3Ø)
- 2.- En este mismo cuadro escoger el transformador y hacer que grafique las curvas:

- | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|---|
| a) del inrush | = Curva INRUSH – carga fría | 1 |
| b) del daño del transformador | = Curva daño térmico | 1 |

Los fusibles tipo dual son de uso exclusivo de los transformadores, debido a su curva de funcionamiento, El fusible dual se acomoda inclusive a la curva del daño del transformador. No se deben usar fusibles duales en redes.

2.4.3 Criterio para seleccionar fusibles.

El tiempo mínimo de fusión = tiempo máximo de limpieza / 0.75 (Ruiz, 2013)

2.4.4 Corriente de servicio

Por lo general hay que medir en la noche (en la hora pico), la I de servicio. Se calcula aproximadamente, sumando todas las potencias y aplicando la ecuación general

$$I = \frac{\sum potencias}{\sqrt{3} \cdot 13.800v} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Pero no está conectado la carga eléctrica a un 100%, por eso se debe ir a medir en la noche y a esa medición aumentar un 20%, este incremento lo damos para que al siguiente día si hay un incremento de I, no queme el fusible. $I_{servicio} < I_{nominal}$

En transformadores se tiene:

- Curva de daño térmico - Curva Inrush - Carga Fría

En líneas se tiene:

- Curva de daño térmico de la línea - Curva de Inrush y Carga Fría.

2.5 Planteamiento y verificación de la hipótesis

Esta investigación está encaminada a dar solución a un problema eléctrico, el mismo que provoca cortes inesperados de energía eléctrica en la Base Aérea Cotopaxi, los mismos que afectan el normal desarrollo de las actividades. Para iniciar la investigación se ha planteado una hipótesis, la misma que utilizando la técnica de la encuesta, mediante un instrumento cuestionario (ver anexo 6), se ha logrado recopilar información para comprobar la hipótesis planteada.

2.5.1 Planteamiento de la hipótesis a ser verificada

Para la comprobación de la hipótesis “El sistema de coordinación de protecciones eléctricas, mediante la selectividad adecuada de fusibles, mejorará la confiabilidad del suministro de energía eléctrica de medio voltaje en el sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi, en el año 2017”, se plantean dos hipótesis la nula y la alternativa, luego se demuestra cuál hipótesis es aceptable.

2.5.2 Hipótesis nula. H0

El sistema de coordinación de protecciones eléctricas, mediante la selectividad **no** adecuada de fusibles, **no** mejorará la confiabilidad del suministro de energía eléctrica de medio voltaje en el sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi, en el año 2017”, se plantean dos hipótesis la nula y la alternativa, , luego se demuestra cuál hipótesis es aceptable.

2.5.3 Hipótesis alternativa. H1

El sistema de coordinación de protecciones eléctricas, mediante la selectividad **no** adecuada de fusibles, **si** mejorará la confiabilidad del suministro de energía eléctrica de medio voltaje en el sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi, en el año 2017”, se plantean dos hipótesis la nula y la alternativa, , luego se demuestra cuál hipótesis es aceptable

2.5.4 Deducción matemática

Para el análisis matemático de los datos obtenidos se plantea que:

Hipótesis Nula H_0

$H_0 = \text{Respuestas observadas} = \text{Respuestas Esperadas}$

Hipótesis Alternativa H_1

$H_1 = \text{Respuestas observadas} \neq \text{Respuestas Esperadas}$

Los niveles de significación están definidos según Catherine M. Thomson, de la siguiente forma: “La probabilidad de rechazar la Hipótesis Nula cuando es falta es de 5%, es decir el nivel de confianza es del 95%”

2.5.5 Tabulación de datos

Tabla 2.3 Datos obtenidos de las encuestas

Pregunta Nro.	Inesperados / Si	Programados / No	Total
1	68	0	68
1	68	0	68
Total	138	0	138

Fuente: Investigador ACOSTA, Hernán

Tabla 2.4 Frecuencias observables

Ítems	Pregunta Nro.	Frecuencias observables (fo)		Total
		Inesperados / Si	Programados / No	
1	1	68	0	68
2	2	68	0	68
Total		136	0	136

Fuente: Investigador ACOSTA, Hernán

Cálculo de frecuencias esperadas

La frecuencia esperada está dada por:

$$fe = \frac{tf * tc}{tg} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

fe = frecuencia esperada

tf = total filas

tc = total columnas

tg = total general

En esta encuesta de las dos preguntas se obtuvieron los cálculos de la frecuencia esperada de la siguiente forma:

Para la respuesta: Inesperados / Si

$$fe = \frac{68 * 136}{136} = 68$$

Para la respuesta: Programados / No

$$fe = \frac{68 * 0}{136} = 0$$

Tabla 2.5 Frecuencias esperadas

Ítems	Pregunta Nro.	Frecuencias esperadas (fe)		Total
		Inesperados / Si fe	Programados / No fe	
1	1	68	0	68
2	2	68	0	68

Fuente: Investigador ACOSTA, Hernán

2.5.6 Cálculo del Chi – cuadrado (fe)

El valor del Chi-cuadrado se calcula de la siguiente forma:

$$X^2c = (fo - fe)^2 / fe \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

X^2c = valor a calcularse Chi cuadrado

fo = frecuencia observada fe = frecuencia esperada

Tabla 2.6 Valores de Chi cuadrado

Ítems	fo	fe	fo-fe	(fo-fe) ²	$X^2c = (fo - fe)^2 / fe$
1	68	68	0	0	0/68 = 0
2	68	68	0	0	0/68 = 0
3	0	0	0	0	(0-fe) ² /fe = fe=0
4	0	0	0	0	(0-fe) ² /fe = fe=0
Total					0

Fuente: Investigador ACOSTA, Hernán

2.5.7 Cálculo del grado de libertad

El grado de libertad se calcula de la siguiente forma:

$$gl = (nf - 1)(nc-1) \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

gl = grado de libertad; nf = número de filas; nc = número de columnas

De donde se obtiene:

$$gl = (2-1)(2-1)$$

$$gl = 1$$

Con este grado de libertad $gl=1$, en la tabla de distribución Chi cuadrado se determina el valor de X^2t

Tabla 2.7 Valores percentiles X^2_t para la distribución de Chi-cuadrado

gl	$X^2_{,995}$	$X^2_{,99}$	$X^2_{,975}$	$X^2_{,95}$	$X^2_{,90}$	$X^2_{,75}$	$X^2_{,50}$	$X^2_{,25}$	$X^2_{,10}$	$X^2_{,05}$	$X^2_{,025}$	$X^2_{,01}$	$X^2_{,005}$
1	7,88	6,63	5,02	3,84	2,71	1,32	0,455	0,102	0,0158	0,0039	0,0010	0,0002	0,0000
2	10,6	9,21	7,38	5,99	4,61	2,77	1,39	0,575	0,211	0,010	0,0506	0,0201	0,0100
3	12,8	11,3	9,35	7,81	6,25	4,11	2,37	1,21	0,58	0,352	0,216	0,115	0,072
4	14,9	13,3	11,1	9,5	7,8	5,4	3,36	1,92	1,06	0,711	0,484	0,297	0,207
5	16,7	15,1	12,8	11,1	9,2	6,6	4,35	2,67	1,61	1,15	0,831	0,554	0,412
6	18,5	16,8	14,4	12,6	10,6	7,8	5,35	3,46	2,20	1,64	1,24	0,872	0,676
7	20,3	18,5	16,0	14,1	12,0	9,0	6,35	4,25	2,83	2,17	1,69	1,24	0,989
8	22,0	20,1	17,5	15,5	13,4	10,2	7,34	5,07	4,17	2,73	2,18	1,65	1,34
9	23,6	21,7	19,0	16,9	14,7	11,4	8,34	5,90	4,87	3,33	2,70	2,09	1,73
10	25,2	23,2	20,5	18,3	16,0	12,5	9,34	6,74	5,58	3,94	3,25	2,56	2,16
11	26,8	24,7	21,9	19,7	17,3	13,7	10,3	7,58	6,30	4,57	3,82	3,05	2,60
12	28,3	26,2	23,3	21,0	18,5	14,8	11,3	8,44	7,04	5,23	4,40	3,57	3,07
13	29,8	27,7	24,7	22,4	19,8	16,0	12,3	9,30	7,79	5,89	5,01	4,11	3,57
14	31,3	29,1	26,1	23,7	21,1	17,1	13,3	10,2	8,55	6,57	5,63	4,66	4,07
15	32,8	30,6	27,5	25,0	22,3	18,2	14,3	11,0	9,31	7,26	6,26	5,23	4,60
16	34,3	32,0	28,8	26,3	23,5	19,4	15,3	11,9	10,1	7,96	6,91	5,81	5,14
17	35,7	33,4	30,2	27,6	24,8	20,5	16,3	12,8	10,9	8,67	7,56	6,41	5,70
18	37,2	34,8	31,5	28,9	26,0	21,6	17,3	13,7	11,7	9,39	8,23	7,01	6,26
19	38,6	36,2	32,9	30,1	27,2	22,7	18,3	14,6	12,4	10,1	8,91	7,63	6,84
20	40,0	37,6	34,2	31,4	28,4	23,8	19,3	15,5	13,2	10,9	9,59	8,26	7,43
21	41,4	38,9	35,5	32,7	29,6	24,9	20,3	16,3	14	11,6	10,3	8,90	8,03
22	42,8	40,3	36,8	33,9	30,8	26,0	21,3	17,2	14,8	12,3	11,0	9,54	8,64
23	44,2	41,6	38,1	35,2	32,0	27,1	22,3	18,1	15,7	13,1	11,7	10,2	9,26
24	45,6	43,0	39,4	36,4	33,2	28,2	23,3	19,0	16,5	13,8	12,4	10,9	9,89
25	46,9	44,3	40,6	37,7	34,4	29,3	24,3	19,9	17,3	14,6	13,1	11,5	10,5
26	48,3	45,6	41,9	38,9	35,6	30,4	25,3	20,8	18,1	15,4	13,8	12,2	11,2
27	49,6	47,0	43,2	40,1	36,7	31,5	26,3	21,1	18	16,2	14,6	12,9	11,8
28	51,0	48,3	44,5	41,3	37,9	32,6	27,3	22,7	18,9	16,9	15,3	13,6	12,5
29	52,3	49,6	45,7	42,6	39,1	33,7	28,3	23,6	19,8	17,7	16,0	14,3	13,1
30	53,7	50,9	47,0	43,8	40,3	34,8	29,3	24,5	20,6	18,5	16,8	15,0	13,8
40	66,8	63,7	59,3	55,8	51,8	45,6	39,3	33,7	29,1	26,5	24,4	22,2	20,7
50	79,5	76,2	71,4	67,5	63,2	56,3	49,3	42,9	37,7	34,8	32,4	29,7	28,0
60	92,0	88,4	83,3	79,1	74,4	67,0	59,3	52,3	46,5	43,2	40,5	37,5	35,5
70	104,2	100,4	95,0	90,5	85,5	77,6	69,3	61,07	55,3	51,7	48,8	45,4	43,3
80	116,3	112,3	106,6	101,9	96,6	88,1	79,3	71,1	64,3	60,4	57,2	53,5	51,2
90	128,3	124,1	118,1	113,1	107,6	98,6	89,3	80,6	73,3	69,1	65,6	61,8	59,2
100	140,2	135,8	129,6	124,3	118,5	109,1	99,3	90,1	82,4	77,9	74,2	70,1	67,3

Fuente: (Murray, 1991) adaptada por Catherine Thomson

De acuerdo a la tabla 2-8, considerando el nivel de significación de 95% (Catherine M. Thomsom) y el grado de libertad calculado $gl=1$, se obtiene un valor de $X^2_t=3.84$

2.5.8 Decisión de la hipótesis

Una vez determinado el valor de X^2_c y el valor de X^2_t , se establece que:

$$3.84 > 0$$

$$X^2_t > X^2_c$$

Por lo tanto se acepta la hipótesis nula que dice:

El sistema de coordinación de protecciones eléctricas, mediante la selectividad **no** adecuada de fusibles, **no** mejorará la confiabilidad del suministro de energía eléctrica de medio voltaje en el sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi, en el año 2017”, se plantean dos hipótesis la nula y la alternativa, , luego se demuestra cuál hipótesis es aceptable.

Es decir que: El sistema de coordinación de protecciones eléctricas, mediante la selectividad **no** adecuada de fusibles, **no** mejorará la confiabilidad del suministro de energía eléctrica de medio voltaje en el sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi, en el año 2017”, se plantean dos hipótesis la nula y la alternativa, , luego se demuestra cuál hipótesis es aceptable. Esta hipótesis equivale a decir que: *“El sistema de coordinación de protecciones eléctricas, mediante la selectividad adecuada de fusibles, mejorará la confiabilidad del suministro de energía eléctrica de medio voltaje en el sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi, en el año 2017”, se plantean dos hipótesis la nula y la alternativa, , luego se demuestra cuál hipótesis es aceptable”*.

Analizando los resultados de las encuestas se justifica el diseño de un sistema de coordinación de protecciones eléctricas, con este análisis se demuestra la comprobación de la hipótesis planteada y la viabilidad de la implementación del proyecto.

2.6 Conclusiones del capítulo II

1. Para iniciar esta investigación se utilizó la técnica de la encuesta, la misma que permitió identificar el problema y plantear la hipótesis.
2. Utilizando el método del Chí cuadrado se comprobó la hipótesis planteada.
3. Para ejecutar esta investigación se inició con la modalidad de investigación de campo que consiste en realizar un censo de carga y así obtener los datos necesarios para luego utilizando la técnica del software simular el comportamiento del sistema y de las protecciones eléctricas a implementarse.

CAPÍTULO III:

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Obtención de los resultados y análisis de las encuestas

El Reparto militar en el que se mejorará la confiabilidad del suministro de energía eléctrica, cuenta con varios técnicos encargados los mismos que se detallan en la siguiente tabla, distribuidos por Dependencias militares:

Tabla 3.1 Personal técnico por dependencia

<i>DEPENDENCIA / SECCIÓN</i>	<i>POBLACIÓN</i>
COMUNICACIONES	15
EMDA	10
DIAF	50
BACO	50
ETFA	75
TORRE DE CNTROL	10
TOTAL	210

Fuente: Personal de la Base Aérea Cotopaxi y otras Dependencias

Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

En este Reparto militar existen aproximadamente 210 personas que se encuentran involucradas directamente con el suministro de energía eléctrica, quienes son personal técnico que determinan la calidad del suministro eléctrico y son las encargadas de coordinar las acciones a tomar para mejorar el servicio, y además determinan la confiabilidad del suministro de energía eléctrica, por lo tanto el universo se considerará únicamente a este grupo de personas.

MUESTRA:

Para determinar la muestra se aplicará la siguiente fórmula:

$$n = N / (E^2(N-1)+1) \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Dónde: n = tamaño de la muestra

N = población o universo

E = error admisible (0.2)

Reemplazando los valores se obtiene una muestra aproximada de: $n= 68$

Este es el tamaño de la muestra a ser entrevistado, se consideró un error de 20% considerando que es un sistema del cual se abastecen todos simultáneamente, es decir si hay falla eléctrica afecta a todos y si no lo hay, no afecta a ningún usuario. Las encuestas se realizaron a 68 personas, obteniendo los siguientes resultados

3.1.1 Pregunta Nro. 1.- ¿Qué tipo de cortes de energía eléctrica han ocurrido?

Tabla 3.2 Resultado de la pregunta 1

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje(%)	Porcentaje acumulado
Inesperados	68	100	100
Programados	0	0	100
TOTAL		100	

Fuente: Investigador ACOSTA Hernán



Figura 3.1 Representación de los resultados de la pregunta Nro. 1

Interpretación de los resultados.

De los datos de la tabla 3.2 obtenidos de la encuesta realizada al personal técnico de la Base Aérea Cotopaxi, se puede apreciar que el 100% considera que los cortes son inesperados.

Este resultado causa pérdidas a la producción.

3.1.2 Pregunta Nro. 2.- ¿Interrumpe su ambiente de trabajo un corte inesperado de energía eléctrica?

Tabla 3.3 Resultado de la pregunta 2

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje(%)	Porcentaje acumulado
Si interrumpe	68	100	100
No interrumpe	0	0	100
TOTAL		100	

Fuente: Investigador ACOSTA Hernán

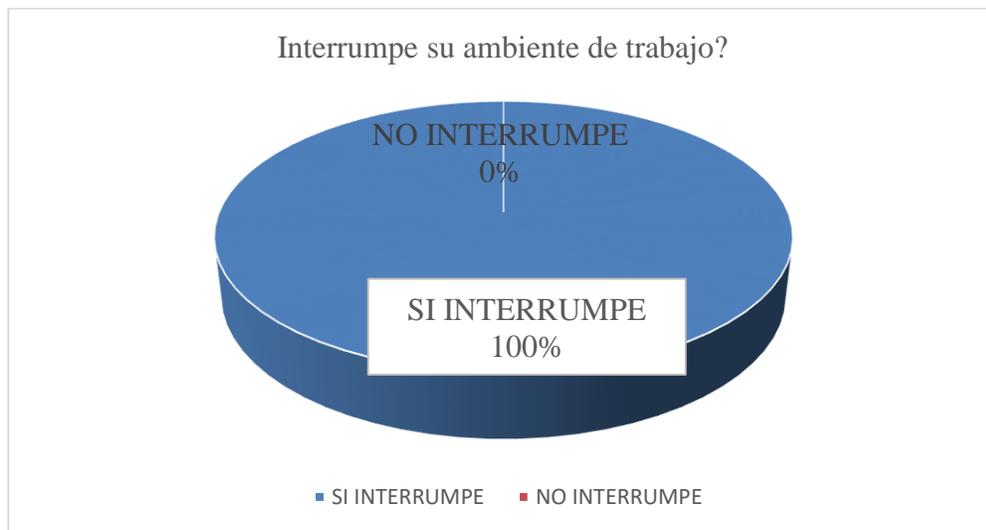


Figura 3.2 Representación de los resultados de la pregunta 2

Interpretación de los resultados.

De los datos de la tabla 3.3 obtenidos en la encuesta realizada al personal técnico de la Base Aérea Cotopaxi, se aprecia que el 100% de los encuestados consideran que un corte inesperado sí interrumpe el ambiente de trabajo.

3.2 Levantamiento de la información del sistema eléctrico

La Base Aérea Cotopaxi se alimenta eléctricamente del alimentador Nro. 4 de la Subestación La Cocha de la Empresa Eléctrica ELEPCO S.A., a nivel de 13.800 voltios.

De este alimentador al llegar a la Base Aérea Cotopaxi, se divide en dos derivaciones, la una para la Base Aérea Cotopaxi y la otra para el Aeropuerto Internacional Cotopaxi, por lo tanto nuestro ramal de estudio se centrará únicamente en el ramal de la Base Aérea Cotopaxi. En la Subestación La Cocha se dispone de un disyuntor, el cual debido a la carga compartida entre la Base Aérea y el Aeropuerto, es calibrado por técnicos de la ELEPCO S.A., es decir no tenemos acceso al mismo.



Figura 3.3 Subestación La Cocha

Fuente: Empresa Eléctrica ELEPCO S.A.

En esta figura 3.3 está la S/E La Cocha, la cual se alimenta a nivel de 69 kV y se obtienen varias salidas a nivel de 13.800 v, siendo la Nro. 5 la que llega a la Base Aérea Cotopaxi.



Figura 3.4 Acometida ELEPCO S.A. desde la Subestación La Cocha a la Base Aérea
Fuente: Base Aérea Cotopaxi

Ingreso de la alimentación de 13800 v para la Base Aérea (ver Anexo Nro 8)

El ramal de la Base Aérea Cotopaxi, abastece a nivel de 13.800 voltios, a las siguientes dependencias:

1. Escuadrón de Mantenimiento de la Defensa Aérea – EMDA
2. Comunicaciones Fuerza Aérea Ecuatoriana – Base Aérea Cotopaxi
3. Almacén y Comisariato FAE
4. Hospital Básico Base Aérea Cotopaxi - Policlínico
5. Rayos X del Hospital Básico BACO
6. Bloques 18 y 19 (áreas de mantenimiento aeronáutico y oficinas administrativas)
7. Casino – cocina comedor “Cóndor” y villas de personal residente
8. Hangares de mantenimiento Dirección Industria Aeronáutica - Hangar Militar.
9. Escuela Técnica de la Fuerza Aérea: ETFA – EPAE – ESPE -UGT

Para el estudio de las protecciones eléctricas de la Base Aérea Cotopaxi, objeto de esta investigación, se realizó el levantamiento de la información eléctrica de este ramal, obteniendo los resultados que se indican en las tablas Nro. 3.4 y Nro. 3.5

3.3 Características de los transformadores y protecciones eléctricas

Tabla 3.4 Tabla de transformadores existentes y protecciones existentes

ITEM	DESCRIPCIÓN	Datos de placa	Corriente calculada	Protección Existente	Voltaje Primario / secundario
1	TRANSFORMADOR 1 - EMDA, TRANSPORT.	150 kVA	6,28 A	10 K	13800/200/115 V
2	TRANSFORMADOR 2 - COMUNICACIONES	100 kVA	4,18 A	8 K	13800/200/115 V
3	TRANSFORMADOR 3 - COMISARIATO	150 kVA	6,28 A	10 K	13800/200/115 V
4	TRANSFORMADOR 4 - POLICLÍNICO	100 kVA	4,18 A	8 K	13800/200/115 V
5	TRANSFORMADOR 5 - RAYOS X	100 kVA	4,18 A	8 K	13800/350/200 V
6	TRANSFORMADOR 6 - BLOQUE 18-19	720 kVA	30,12 A	25 K	13800/480/277 V
7	TRANSFORMADOR 7 - Casino-cocina-comedor	350 kVA	14,64 A	15 K	13800/200/115 V
8	TRANSFORMADOR 8 - HANGAR 23 - CEMA	720 kVA	30,12 A	25 K	13800/480/277 V
9	TRANSFORMADOR 9 - ETFA	720 kVA	30,12 A	25 K	13800/480/277 V

Fuente: Sistema eléctrico Base Aérea Cotopaxi

Elaborador por: Investigador ACOSTA, Hernán

En la tabla 3.4 se aprecian nueve transformadores con su ubicación, valores de potencia y corriente así como los niveles de voltaje tanto del primario y secundario. Además se determinaron los valores de los fusibles de protecciones existentes.

El transformador que alimenta a Rayos X tiene un voltaje de salida de 350 voltios. Los transformadores del Bloque 18-19, del hangar de aviones comerciales-militares y el transformador de la ETFA tienen voltajes de salida de 480 voltios.

Adicional a las protecciones de los transformadores, existen otros seccionadores, los cuales únicamente sirven para seccionar cuando se requiere un mantenimiento.

Tabla 3.5 Características de seccionadores adicionales

SECCIONADORES EXISTENTES		
ITEM	DESCRIPCION	CAPACIDAD / FUNCIONAMIENTO
10	SECCIONADOR TIPO TIRAFUSIBLE - Sb	50 K
11	SECCIONADOR TIPO TIRAFUSIBLE - Sc	tipo switche
12	SECCIONADOR TIPO TIRAFUSIBLE - Sd	tipo switche
13	SECCIONADOR TIPO TIRAFUSIBLE - Se	50 K
14	SECCIONADOR TIPO TIRAFUSIBLE - Sf	50 K
15	SECCIONADOR TIPO TIRAFUSIBLE - Sg	25 K

Fuente: Sistema eléctrico Base Aérea Cotopaxi

Elaborador por: Investigador ACOSTA, Hernán

En esta tabla 3.5 se aprecia que existen 2 seccionadores que funcionan tipo switche, es decir únicamente se utilizará para seccionar en caso de requerir para mantenimiento. Los fusibles Sb y Se tienen un valor de 50 A, esto se debe a que existen cargas que sumadas superan o igualan a 50 A razón por la que están con 50 K

3.4 Datos de placa de transformadores y valores medidos de potencia y corriente

Tabla 3.6 Datos de placa y valores de potencia y corrientes

ITEM	DESCRIPCIÓN	Datos de placa	Corriente calculada	POTENCIA MEDIDA
1	TRANSFORMADOR 1 - EMDA, TRANSPORT.	150 kVA	6,28 A	75 kVA
2	TRANSFORMADOR 2 - COMUNICACIONES	100 kVA	4,18 A	50 kVA
3	TRANSFORMADOR 3 - COMISARIATO	150 kVA	6,28 A	75 kVA
4	TRANSFORMADOR 4 - POLICLÍNICO	100 kVA	4,18 A	50 kVA
5	TRANSFORMADOR 5 - RAYOS X	100 kVA	4,18 A	40 kVA
6	TRANSFORMADOR 6 - BLOQUE 18-19	720 kVA	30,12 A	200 kVA
7	TRANSFORMADOR 7 - Casino-cocina-comedor	350 kVA	14,64 A	75 kVA
8	TRANSFORMADOR 8 - HANGAR 23 - CEMA	720 kVA	30,12 A	225 kVA
9	TRANSFORMADOR 9 - ETFA	720 kVA	30,12 A	200 kVA

Fuente: Sistema eléctrico Base Aérea Cotopaxi

Elaborador por: Investigador ACOSTA, Hernán

En la tabla 3.6 se tienen los valores de corriente correspondientes a cada transformador

Para calcular la corriente se tiene la siguiente ecuación:

$$S = \sqrt{3} I V \quad [kVA] \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} V} \quad [A] \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Aplicando la ecuación 3.2 con los datos de potencia medida, se obtienen los valores de la corriente real que consume cada dependencia.

Tabla 3.7 Valores de corriente en base a la potencia medida

ITEM	DESCRIPCIÓN	Datos de placa	Corriente calculada	POTENCIA MEDIDA	CORRIENTE MEDIDA
1	TRANSFORMADOR 1 - EMDA, TRANSPORT.	150 kVA	6,28 A	75 kVA	3,14 A
2	TRANSFORMADOR 2 - COMUNICACIONES	100 kVA	4,18 A	50 kVA	2,09 A
3	TRANSFORMADOR 3 - COMISARIATO	150 kVA	6,28 A	75 kVA	3,14 A
4	TRANSFORMADOR 4 - POLICLÍNICO	100 kVA	4,18 A	50 kVA	2,09 A
5	TRANSFORMADOR 5 - RAYOS X	100 kVA	4,18 A	40 kVA	1,67 A
6	TRANSFORMADOR 6 - BLOQUE 18-19	720 kVA	30,12 A	200 kVA	8,37 A
7	TRANSFORMADOR 7 - Casino-cocina-comedor	350 kVA	14,64 A	75 kVA	5,23 A
8	TRANSFORMADOR 8 - HANGAR 23 - CEMA	720 kVA	30,12 A	225 kVA	9,41 A
9	TRANSFORMADOR 9 - ETFA	720 kVA	30,12 A	200 kVA	8,37 A

Fuente: Sistema eléctrico Base Aérea Cotopaxi

Elaborador por: Investigador ACOSTA, Hernán

La tabla 3.7 contiene los valores de corriente y potencia, los mismos que se obtuvieron utilizando el analizador de energía fluke 433 (para la potencia) y aplicando la ecuación 3-2 para calcular la corriente, estos valores se considerarán, para realizar las coordinaciones eléctricas finales.

Para determinar las protecciones eléctricas se utilizó el software ETAP 12.6, mediante el cual calcula y presenta la corriente de cortocircuito, entre otras características.

En este caso debido a que el sistema eléctrico mantiene cámaras de transformación las cuales son alimentadas en forma subterránea por conductores XLPE # 2 y de acuerdo a las tablas características, se seleccionó la corriente de cortocircuito de menor valor

3.5 Estudio de corrientes de cortocircuito

Para este caso de estudio se utiliza el software ETAP 12.6 con la norma IEC 60909, el mismo que de acuerdo a las características del sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi, establece los siguientes valores:

Tabla 3.8 Reporte de cortocircuito del sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus	3-Phase Fault				
	ID	kV	I ^{'k}	ip	I _k
Bus2		13.800	8.120	12.469	8.120
Bus14		0.200	8.093	15.875	8.093
Bus15		0.200	5.424	12.240	5.424
Bus17		0.200	8.107	18.260	8.107
Bus18		0.200	5.424	12.240	5.424
Bus19		0.350	3.095	6.077	3.095
Bus21		0.200	4.877	9.574	4.877
Bus22		13.800	8.875	13.851	8.875
Bus23		0.480	5.559	10.845	5.559
Bus24		0.480	5.556	10.834	5.556
Bus25		0.480	5.577	10.919	5.577
Bus32		13.800	8.364	12.907	8.364

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

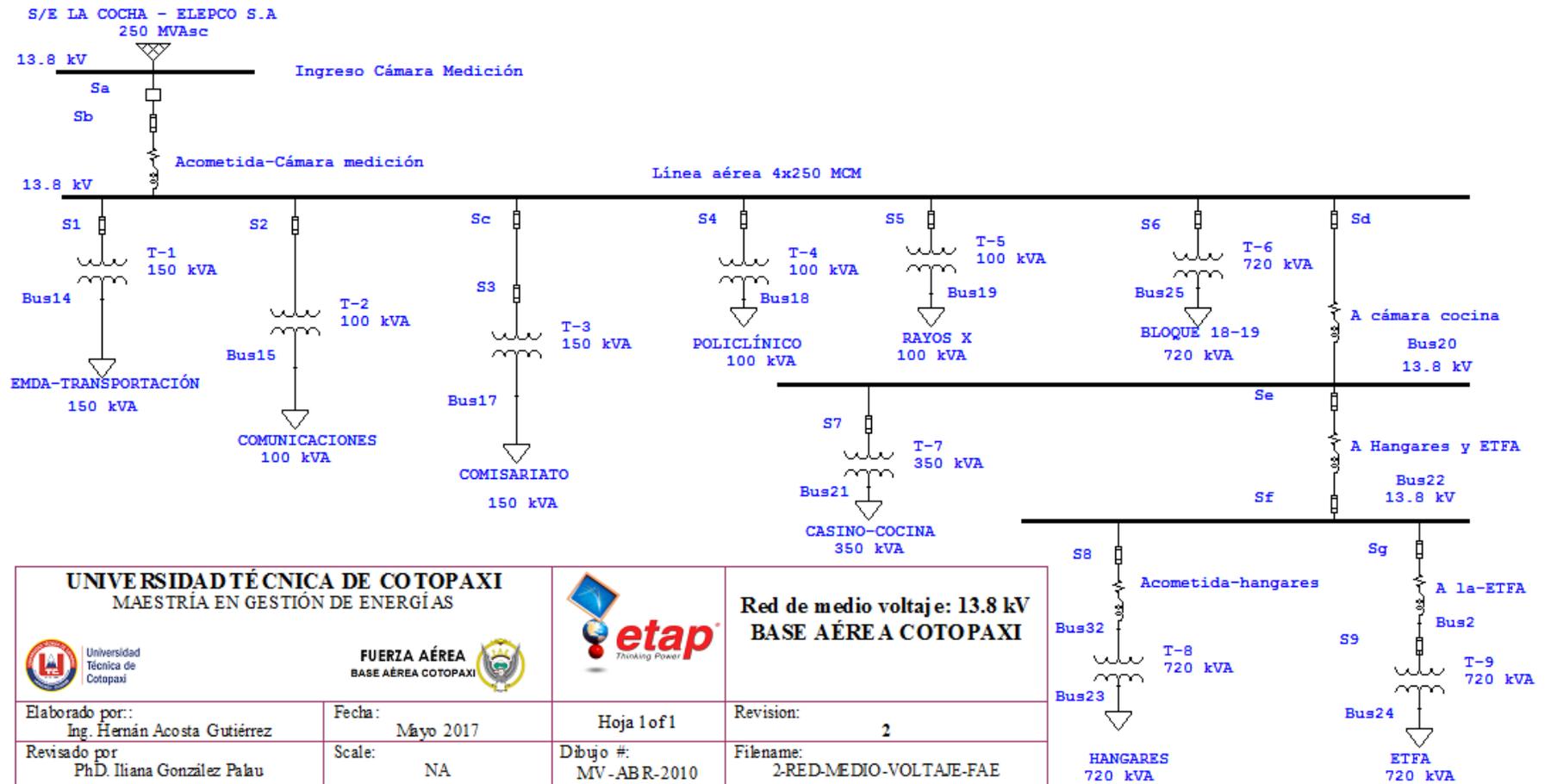
* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Fuente: Sistema eléctrico Base Aérea Cotopaxi utilizando el Software ETAP 12.6

Elaborador por: Investigador ACOSTA, Hernán

Los valores completos se encuentran en la tabla 3.9 Reporte de cortocircuito

3.6 Diagramas eléctricos utilizando el software ETAP 12.6



Fuente: Investigador ACOSTA, Hernán

Figura 3.5 Diagrama eléctrico utilizando ETAP 12-6

En esta figura 3.5 se aprecia el levantamiento real de los transformadores, conductores y seccionadores existentes

Tabla 3.9 Reporte de cortocircuito del sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi

Informe Resumen de Cortocircuito

Corriente de Falta Trifásica, LG, LL, LLG

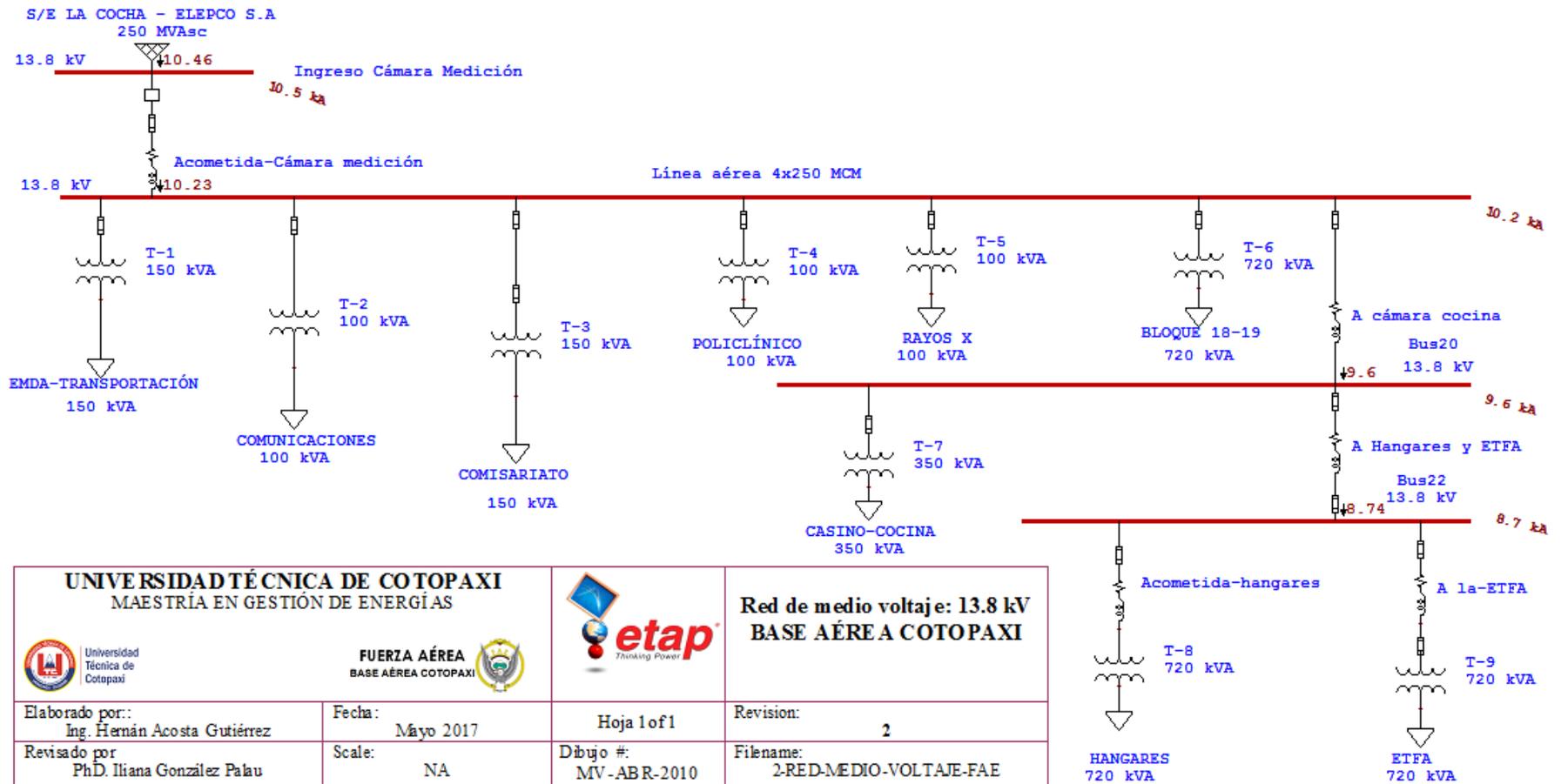
Barra		Falta Trifásica			Falta Línea-a-Tierra				Falta Línea-a-Línea				*Línea-a-Línea-a-Tierra			
ID	kV	I ^{"k}	ip	Ik	I ^{"k}	ip	lb	Ik	I ^{"k}	ip	lb	Ik	I ^{"k}	ip	lb	Ik
Bus2	13.800	8.120	12.469	8.120	7.600	11.670	7.600	7.600	7.032	10.799	7.032	7.032	7.895	12.123	7.895	7.895
Bus14	0.200	8.093	15.875	8.093	8.124	15.936	8.124	8.124	7.009	13.748	7.009	7.009	8.117	15.921	8.117	8.117
Bus15	0.200	5.424	12.240	5.424	5.449	12.296	5.449	5.449	4.698	10.600	4.698	4.698	5.645	12.739	5.645	5.645
Bus17	0.200	8.107	18.260	8.107	8.153	18.364	8.153	8.153	7.021	15.814	7.021	7.021	8.439	19.007	8.439	8.439
Bus18	0.200	5.424	12.240	5.424	5.449	12.296	5.449	5.449	4.698	10.600	4.698	4.698	5.645	12.739	5.645	5.645
Bus19	0.350	3.095	6.077	3.095	3.103	6.092	3.103	3.103	2.680	5.263	2.680	2.680	3.101	6.089	3.101	3.101
Bus21	0.200	4.877	9.574	4.877	4.888	9.597	4.888	4.888	4.223	8.291	4.223	4.223	4.886	9.592	4.886	4.886
Bus22	13.800	8.875	13.851	8.875	8.477	13.229	8.477	8.477	7.686	11.995	7.686	7.686	8.712	13.595	8.712	8.712
Bus23	0.480	5.559	10.845	5.559	5.600	10.927	5.600	5.600	4.814	9.392	4.814	4.814	5.595	10.916	5.595	5.595
Bus24	0.480	5.556	10.834	5.556	5.598	10.917	5.598	5.598	4.811	9.382	4.811	4.811	5.594	10.908	5.594	5.594
Bus25	0.480	5.577	10.919	5.577	5.613	10.988	5.613	5.613	4.830	9.456	4.830	4.830	5.604	10.972	5.604	5.604
Bus32	13.800	8.364	12.907	8.364	7.878	12.158	7.878	7.878	7.243	11.178	7.243	7.243	8.157	12.588	8.157	8.157

Todas las corrientes de falta en kA rms. Corriente ip calculada usando Método C.

* Corriente de falta LLG es la mayor de las corrientes de las dos líneas falladas.

Fuente: Sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi utilizando el Software ETAP 12.6

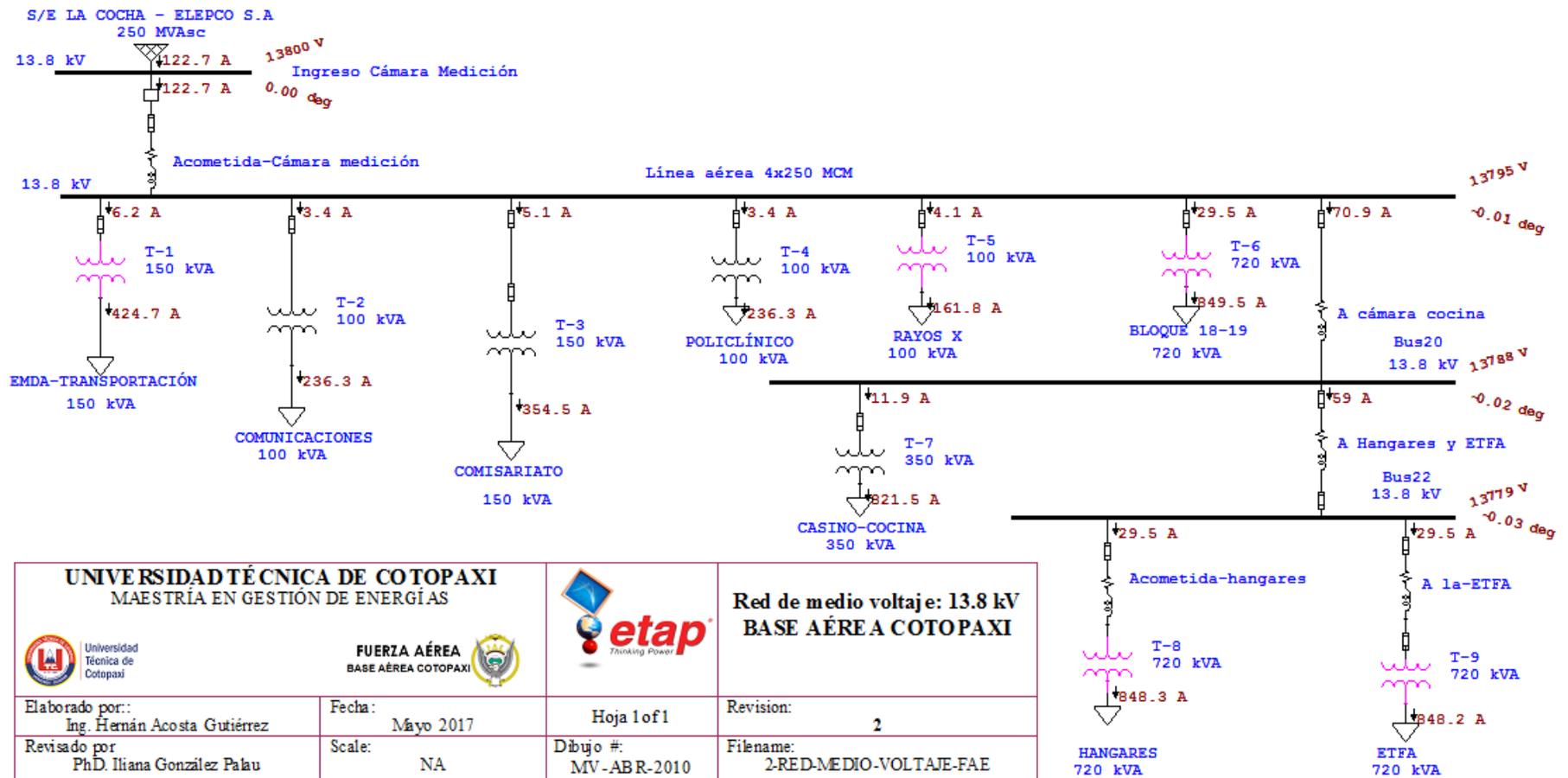
Recopilado por: Investigador ACOSTA Hernán



Fuente: Investigador ACOSTA, Hernán

Figura 3.6 Determinación de la corriente de cortocircuito mediante ETAP 12.6

En la figura 3.12 Luego de ingresar los datos de campo obtenidos, mediante este software ETA 12.6, se aprecian los valores de corriente de cortocircuito I_{cc} , en los diferentes puntos de seccionamiento, esta I_{cc} es importante para aplicar en el software Excel.

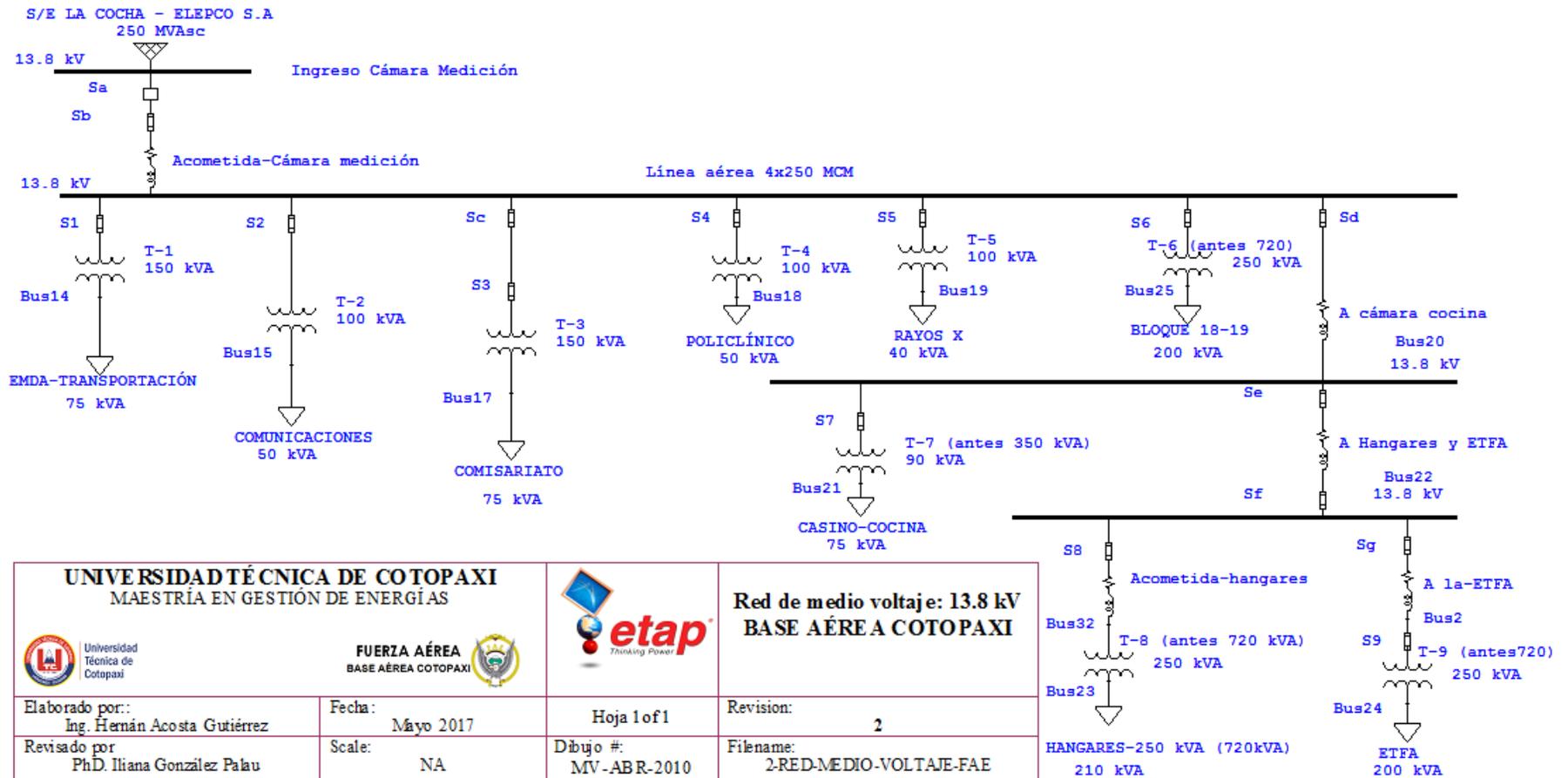


Fuente: Investigador ACOSTA, Hernán

Figura 3.7 Determinación de corrientes máximas utilizando ETAP 12.6

En esta figura 3.7 se determinan los valores de corriente reales considerando que está aplicando una carga al 100%, estos valores servirán como referencia para aplicar la coordinación de protecciones eléctricas.

3.7 Diagramas eléctricos modificados utilizando los valores medidos, mediante el analizador de energía

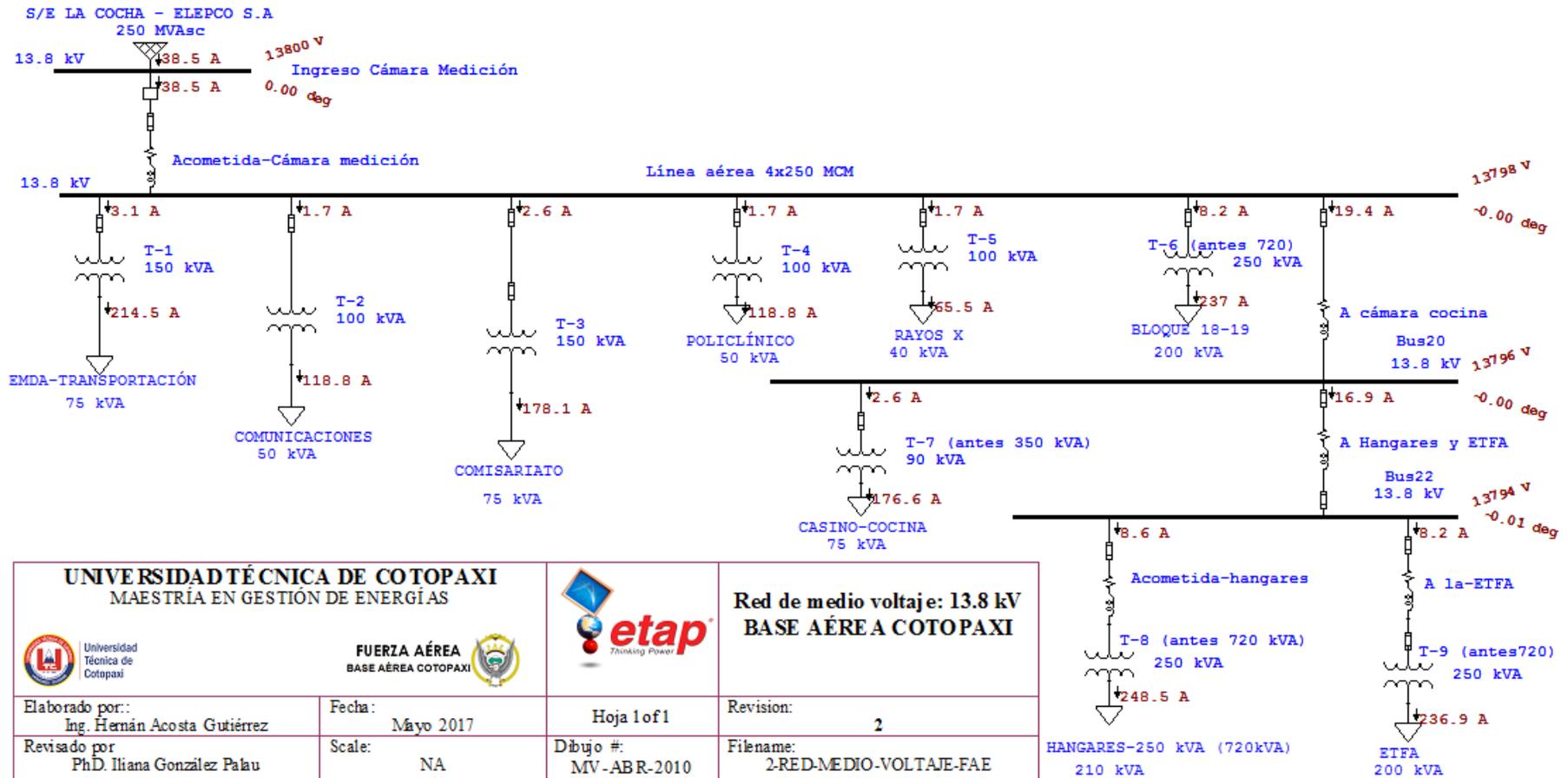


Fuente: Investigador ACOSTA, Hernán

Figura 3.8 Diagrama con potencias nominales o deservicio utilizando ETAP 12.6

En esta figura 3.8 se aprecian como varían los valores de consumo de corriente real.

3.8 Diagramas eléctricos modificados para determinar el consumo real de corriente.

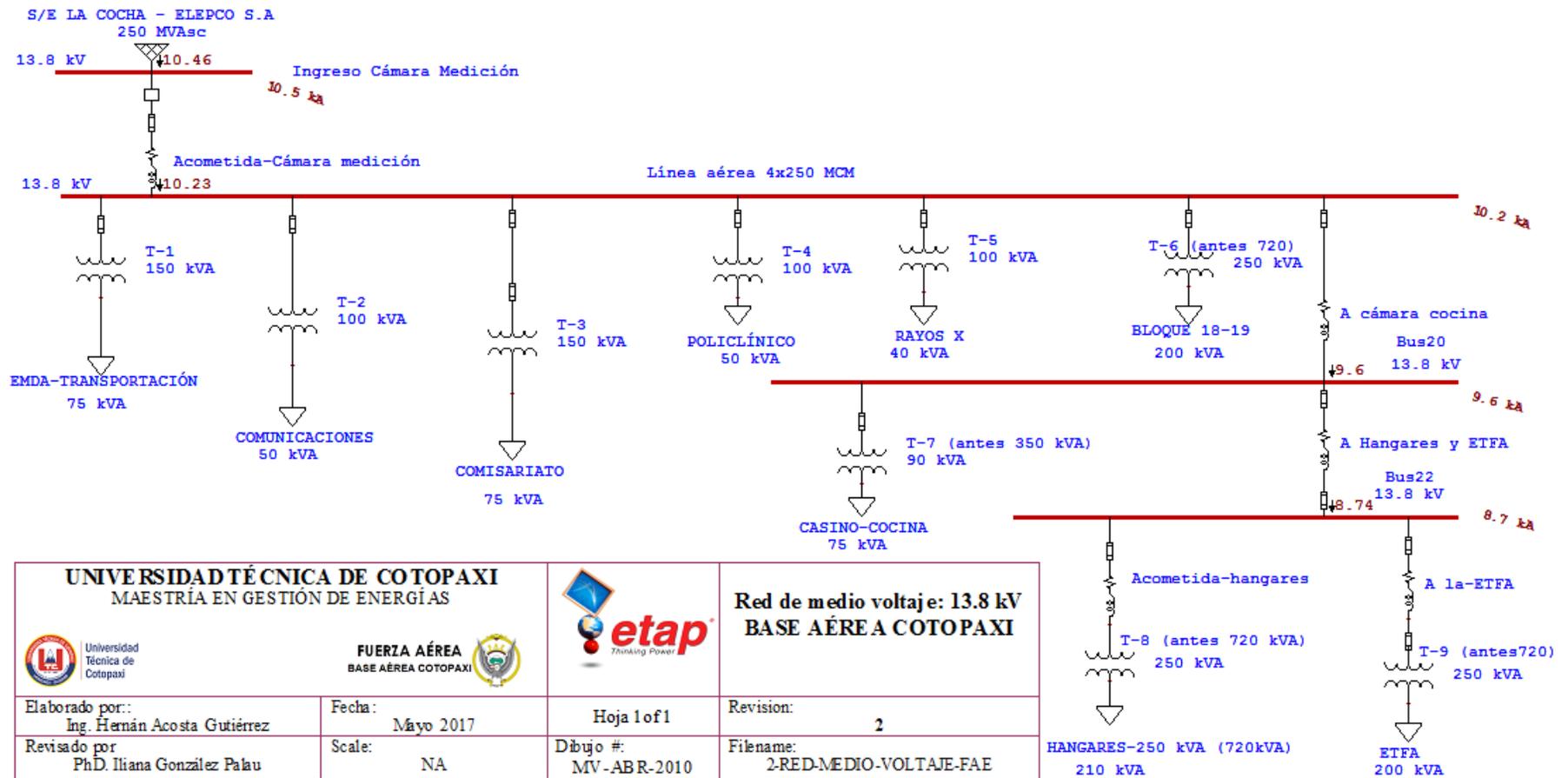


Fuente: Investigador ACOSTA, Hernán

Figura 3.9 Consumos reales de corriente utilizando las cargas reales.

Comparando los datos de corriente de esta figura 3.9 (valores reales) se pueden apreciar que han variado considerablemente respecto a los datos de placa.

3.9 Diagramas eléctricos modificados para determinar la corriente de cortocircuito.



Fuente: Investigador ACOSTA, Hernán

Figura 3.10 Determinación de la corriente de cortocircuito utilizando carga real

En esta figura 3.10 se aprecia que los datos de cortocircuito no varían incrementar o reducir la carga.

3.9 Conclusiones del Capítulo III.

- 1.- Para realizar una modificación de la coordinación de protecciones se debe realizar un censo de carga, en este caso de estudio para determinar las protecciones existentes fue necesario desconectar la alimentación a nivel de 13.800 voltios y verificar visualmente la capacidad de los fusibles.
- 2.- Luego del levantamiento de la información se deben ingresar los datos al software ETAP 12.6, el cual permite simular el comportamiento del sistema eléctrico.
- 3.- Con los datos obtenidos de placa y con los datos del software se procedió a ingresar en la aplicación OETB de Excel y así obtener las curvas de comportamiento de los transformadores, fusibles de protección y conductores.
- 4.- Mediante la selectividad de los fusibles existentes en la aplicación de Excel, se escoge el fusible apropiado, el cual no debe intersecar con la curva de inrush y carga fría del transformador ni con la curva de daño térmico del mismo.

CAPÍTULO IV

4. PROPUESTA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La propuesta del presente trabajo de investigación es determinar el comportamiento de las protecciones eléctricas existentes y reemplazar o mantener las protecciones de los transformadores, y de línea de acuerdo a los datos de curvas obtenidas por medio de la aplicación de Excel.

4.1 Título de la propuesta

Diseño de un sistema de coordinación de protecciones eléctricas, para mejorar la confiabilidad del suministro de energía eléctrica en la Base Aérea Cotopaxi en el año 2017. Coordinación de protecciones eléctricas utilizando la aplicación OETB de Excel.

4.2 Justificación

El sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi, continuamente presentaba cortes de energía, por sobrecarga, consecuentemente no ofrecía una buena confiabilidad, por esta razón es que se procedió a realizar un diseño para determinar la correcta selectividad y operatividad de las protecciones eléctricas, con la cual se protegerán los equipos y redes asociados en el caso de sobrecargas.

El diseño se hizo en función de los elementos de protección disponible en el mercado local, con la finalidad que sea factible su implementación y por consiguiente resulta de utilidad práctica su implementación.

La confiabilidad del suministro de energía eléctrica mediante una correcta coordinación de protecciones tendrá un impacto relevante, por cuanto ofrecerá bienestar a todos los usuarios al suministrar un servicio eléctrico sin interrupciones inesperadas.

4.3 Objetivos

- 1.- Ingresar los datos del transformador en la aplicación OETB de Excel para determinar las curvas de inrush-carga fría y la de daño térmico del transformador, para determinar el rango en el que puede trabajar un fusible.
- 2.- Ingresar los datos del fusible actual para observar su comportamiento en las curvas del transformador.
- 3.- Proceder con la selectividad de los fusibles observando que no afecte las curvas de inrush- carga fría y de daño térmico del transformador.
- 4.- Ingresar los datos de cortocircuito y de corriente inrush y carga fría de los conductores para proceder con la selectividad de las protecciones de fusibles de línea.
- 5.- Proceder al reemplazo de los fusibles que no están coordinados.

4.4 Estructura de la propuesta

Esta propuesta está dividida en dos partes:

- 1.- Determinación del funcionamiento de las protecciones existentes, asegurando que el funcionamiento no cause daños a los transformadores.
- 2.- Diseño de la coordinación de protecciones eléctricas utilizando la aplicación OETB de Excel, para una adecuada selectividad de protecciones.

4.5 Desarrollo de la propuesta

Para el desarrollo de esta propuesta, en la aplicación OETB de excel se ingresarán los datos de placa de cada uno de los transformadores y se obtendrán las curvas de Inrush y de daño térmico.

Tabla 4.1 Datos del transformador

Transformador Trifásicos	
Sn(kVA)	150
Un(kV)	13,8
In(A)	6,27555
Curva Inrush-Carga Fría	1
Curva Daño Térmico	1

Fuente: Aplicación OETB de excel

Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

Tabla 4.2 Datos de fusibles existentes en el mercado

Fusibles K		Fusibles T		Fusibles H		Fusibles Dual	
1K	0	1T	0	1H	0	0,4	0
2K	0	2T	0	2H	0	0,6	0
3K	0	3T	0	3H	0	0,7	0
6K	0	6T	0	6H	0	1	0
8K	0	8T	0	8H	0	1,3	0
10K	0	10T	0	10H	0	1,4	0

Fuente: Aplicación OETB de excel

Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

Luego se selecciona el tipo de fusible actual (con el que está trabajando) y se grafica en Excel para determinar su comportamiento.

De la misma forma se procede a la selectividad de los fusibles existentes en la tabla de la aplicación OETB de Excel, una vez seleccionado el adecuado, se compara el funcionamiento entre el anterior y el sugerido.

4.5.1 . Coordinación de protecciones para el transformador 1.

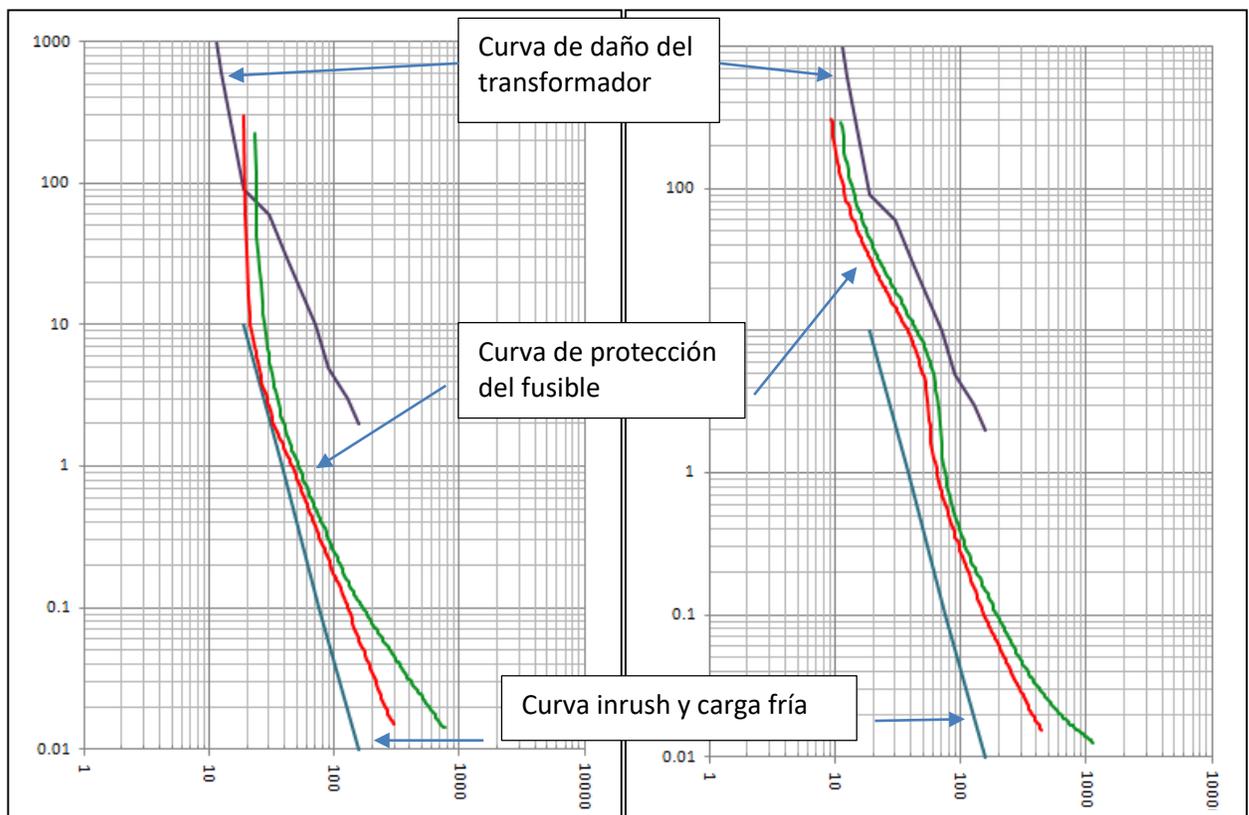
Potencia: 150 kVA - Potencia medida: 75 kVA,

Tabla 4.3 Datos del transformador 1

Transformador Trifásicos	
Sn(kVA)	150
Un(kV)	13.8
In(A)	6.28
Curva Inrush-Carga Fría	1
Curva Daño Térmico	1

a) Coordinación existente
con fusible 10 K

a) Coordinación propuesta inicial
con fusible dual de 3.5 A



Fuente de la tabla 4.3 y de la figura 4.1: Aplicación OETB de excel

Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

Figura 4.1 Coordinación de protecciones transformador 1

En la figura 4.1 a) se tiene la curva de funcionamiento del fusible existente, el cual corta con la curva de daño térmico del transformador. En la figura 4.1 b) la curva del fusible propuesto se ajusta perfectamente a la curva de daño térmico.

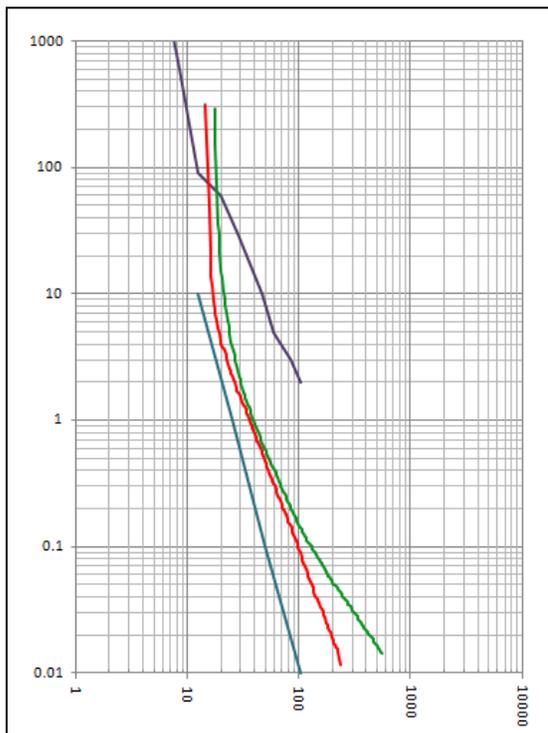
4.5.2 Coordinación de protecciones para el transformador 2.

Potencia: 100 kVA - Potencia medida: 50 kVA

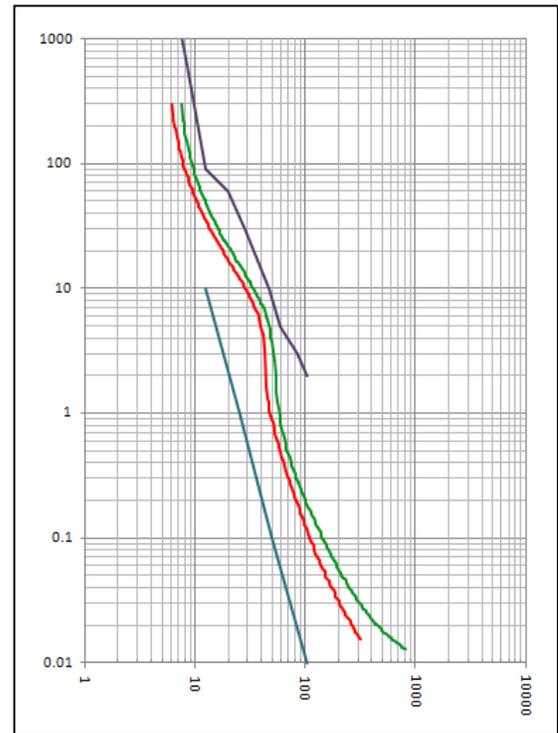
Tabla 4.4 Datos del transformador 2

Transformador Trifásicos	
Sn(kVA)	100
Un(kV)	13.8
In(A)	4.18
Curva Inrush-Carga Fría	1
Curva Daño Térmico	1

a) Coordinación existente
con fusible 8 K



a) Coordinación propuesta inicial
con fusible dual de 2.1 A



Fuente: Aplicación OETB de excel

Figura 4.2 Coordinación de protecciones transformador 2

4.5.3 Coordinación de protecciones para el transformador 3.

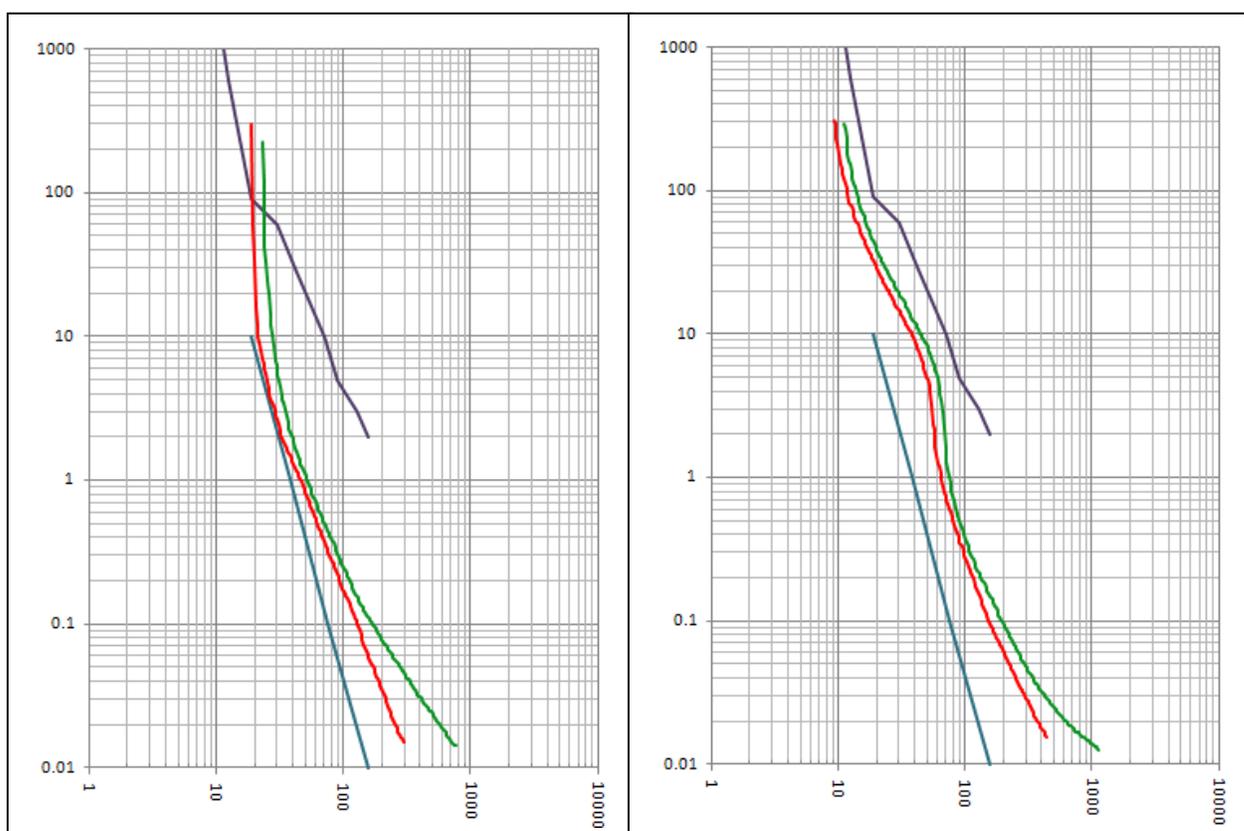
Potencia: 150 kVA - Potencia medida: 75 kVA

Tabla 4.5 Datos del transformador 3

Transformador Trifásicos	
Sn(kVA)	150
Un(kV)	13.8
In(A)	6.28
Curva Inrush-Carga Fría	1
Curva Daño Térmico	1

a) Coordinación existente
con fusible 10 K

a) Coordinación propuesta inicial
con fusible dual de 3.1 A



Fuente: Aplicación OETB de excel

Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

Figura 4.3 Coordinación de protecciones transformador 3

4.5.4 Coordinación de protecciones para el transformador 4.

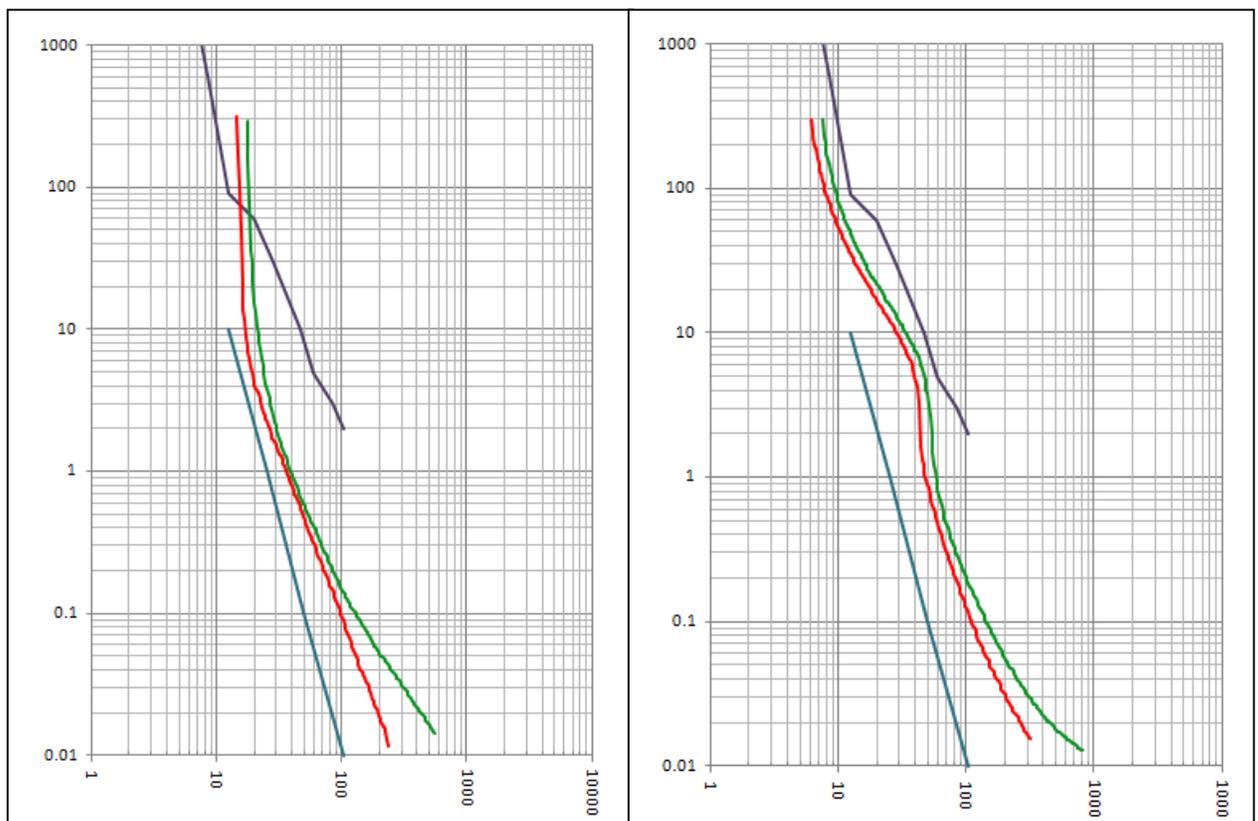
Potencia: 100 kVA - Potencia medida: 50 kVA

Tabla 4.6 Datos del transformador 4

Transformador Trifásicos	
Sn(kVA)	100
Un(kV)	13.8
In(A)	4.18
Curva Inrush-Carga Fría	1
Curva Daño Térmico	1

a) Coordinación existente
con fusible 8 K

a) Coordinación propuesta inicial
con fusible dual de 2.1 A



Fuente: Aplicación OETB de excel

Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

Figura 4.4 Coordinación de protecciones transformador 4

4.5.5 Coordinación de protecciones para el transformador 5.

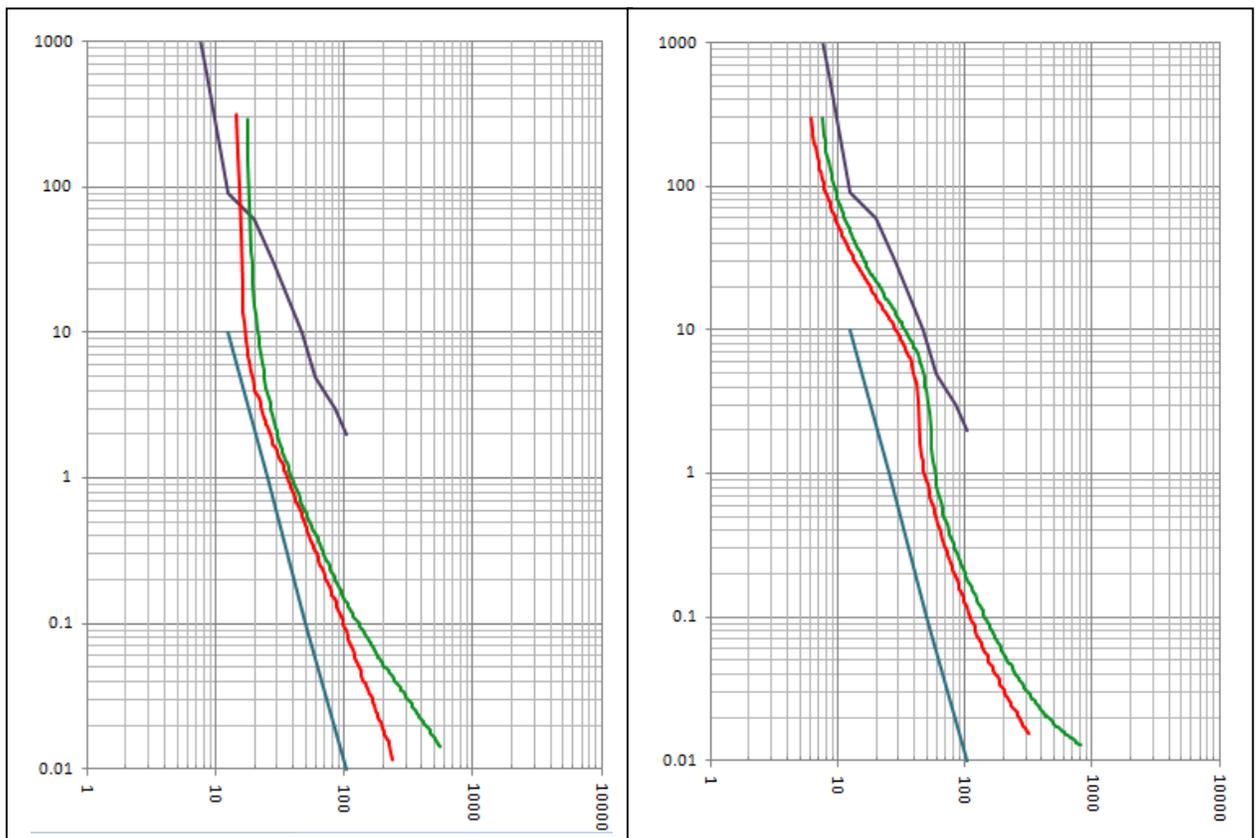
Potencia: 100 kVA - Potencia medida: 40 kVA

Tabla 4.7 Datos del transformador 5

Transformador Trifásicos	
Sn(kVA)	100
Un(kV)	13.8
In(A)	4.18
Curva Inrush-Carga Fría	1
Curva Daño Térmico	1

a) Coordinación existente
con fusible 8 K

a) Coordinación propuesta inicial
con fusible dual de 2.1 A



Fuente: Aplicación OETB de excel

Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

Figura 4.5 Coordinación de protecciones transformador 5

4.5.6 Coordinación de protecciones para el transformador 6.

Potencia: 720 kVA - Potencia medida: 200 kVA

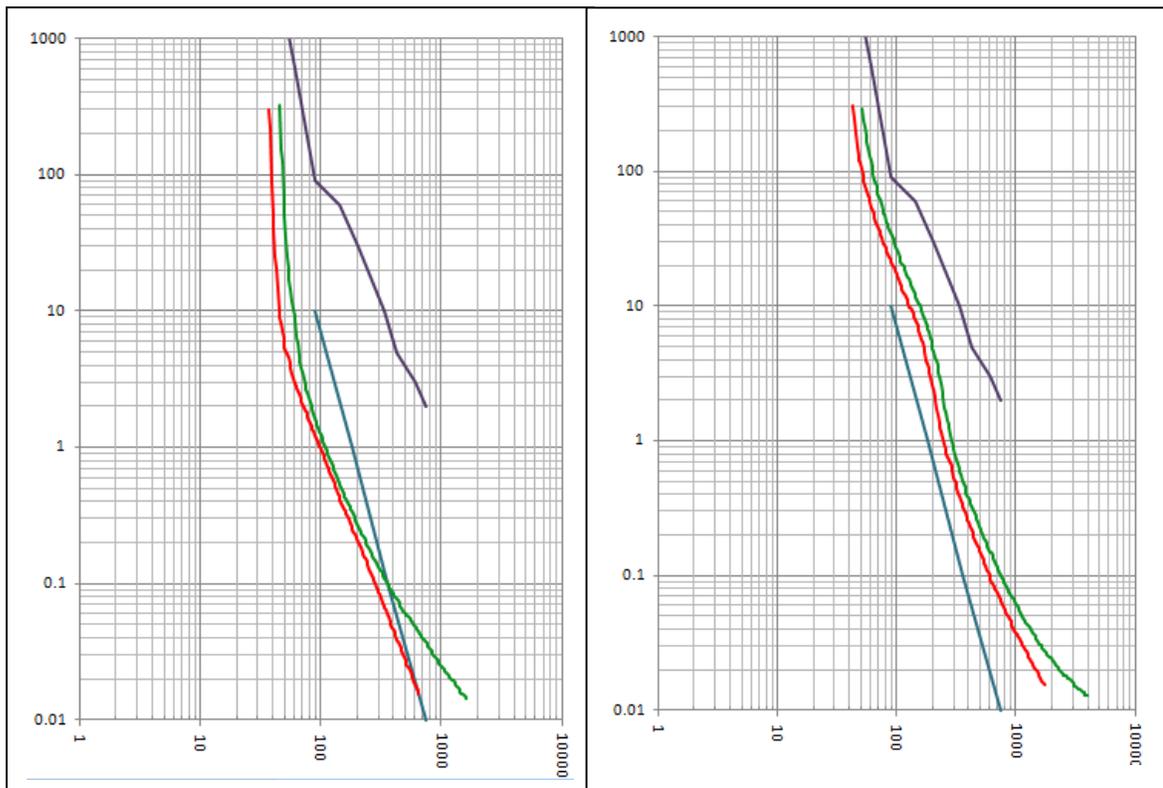
Tabla 4.8 Datos del transformador 6

Transformador Trifásicos	
Sn(kVA)	720
Un(kV)	13.8
In(A)	30.1
Curva Inrush-Carga Fría	1
Curva Daño Térmico	1

Figura 4.6 Coordinación de protecciones transformador 6

a) Coordinación existente
con fusible 25 K

a) Coordinación propuesta inicial
con fusible dual de 14 A



En esta coordinación de protecciones se puede observar que el fusible de 25 K debe activarse con un inrush de carga, pero esto no ocurre por cuanto la carga es baja, esto se comprueba midiendo, la cual no supera los 200 kVA (ver tabla 3.4), es decir si se sobrecarga un 25 %, es decir se obtiene una carga de 250 kVA y esta debería ser la potencia requerida de un transformador, por lo tanto si se coordina para un transformador de 250 kVA se está protegiendo adecuadamente al sistema.

4.5.7 Coordinación de protecciones para el transformador 6 sugerido.

Nota 1.- Considerando que la potencia medida de la carga del transformador 6 no supera los 200 kVA, según tabla 3.4, la coordinación **sugerida** se realizará para un transformador con una potencia igual de 250 kVA

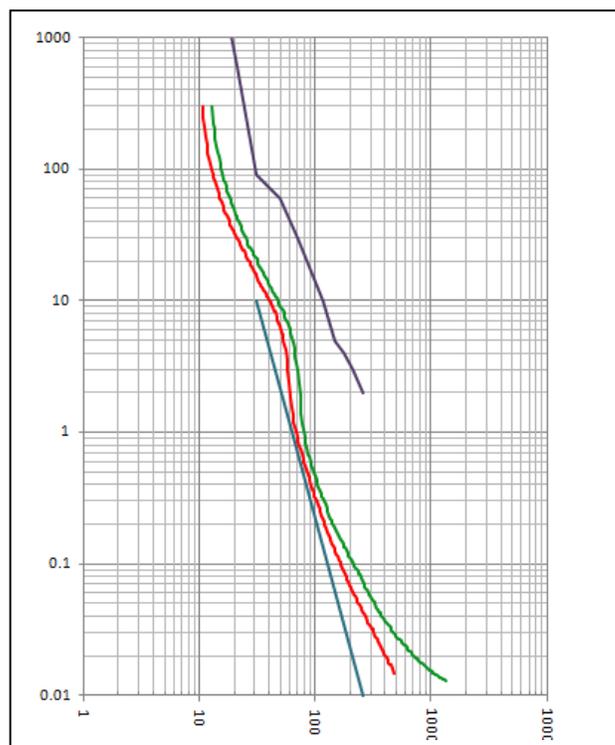
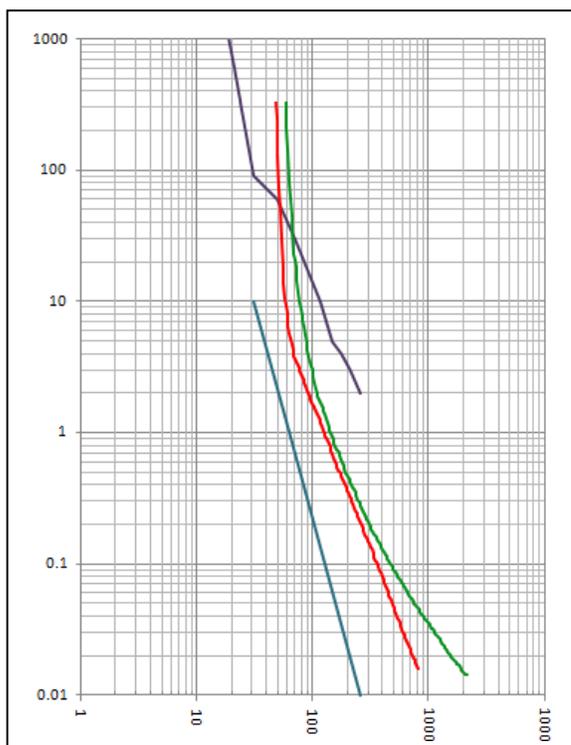
Potencia: 250 kVA (antes 720 kVA) - Potencia medida: 200 kVA

Tabla 4.9 Datos del transformador 6 sugerido

Transformador Trifásicos	
Sn(kVA)	250
Un(kV)	13.8
In(A)	10
Curva Inrush-Carga Fría	1
Curva Daño Térmico	1

a) Coordinación existente
con fusible 25 K

a) Coordinación propuesta final
con fusible dual de 3.5 A



Fuente: Aplicación OETB de Excel

Figura 4.7 Coordinación de protecciones del transformador 6 sugerido.

4.5.8 Coordinación de protecciones para el transformador 7.

Potencia: 350 kVA, Potencia medida: 75 kVA

Tabla 4.10 Datos del transformador 7

Transformador Trifásicos	
Sn(kVA)	350
Un(kV)	13.8
In(A)	15
Curva Inrush-Carga Fría	1
Curva Daño Térmico	1

a) Coordinación existente con fusible 15 K

a) Coordinación propuesta inicial con fusible dual de 6.3 A

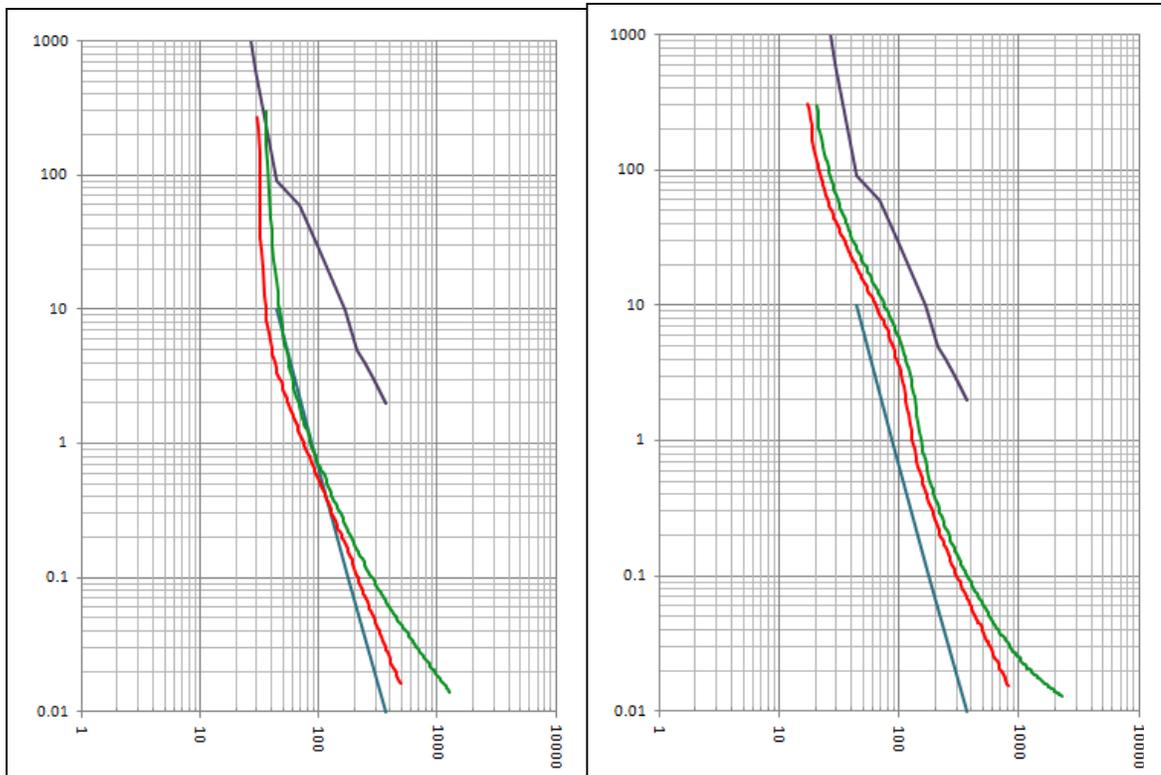


Figura 4.8 Coordinación de protecciones transformador 7

En esta coordinación de protecciones se puede observar que el fusible de 15 K debe activarse con un inrush de carga, pero esto no ocurre por cuanto la carga es baja, esto se comprueba midiendo, la cual no supera los 75 kVA, es decir si sobrecargamos un 20 %, es decir obtenemos una carga de 90 kVA y esta debería ser la potencia requerida de un transformador, por lo tanto si coordinamos para un transformador de 90 kVA estamos protegiendo adecuadamente al sistema.

4.5.9 Coordinación de protecciones para el transformador 7.sugerido

Nota 2.- Considerando que la potencia medida de la carga del transformador 7 no supera los 75 kVA, según tabla 3.4, la coordinación **sugerida** se realizará para un transformador con una potencia igual de 90 kVA

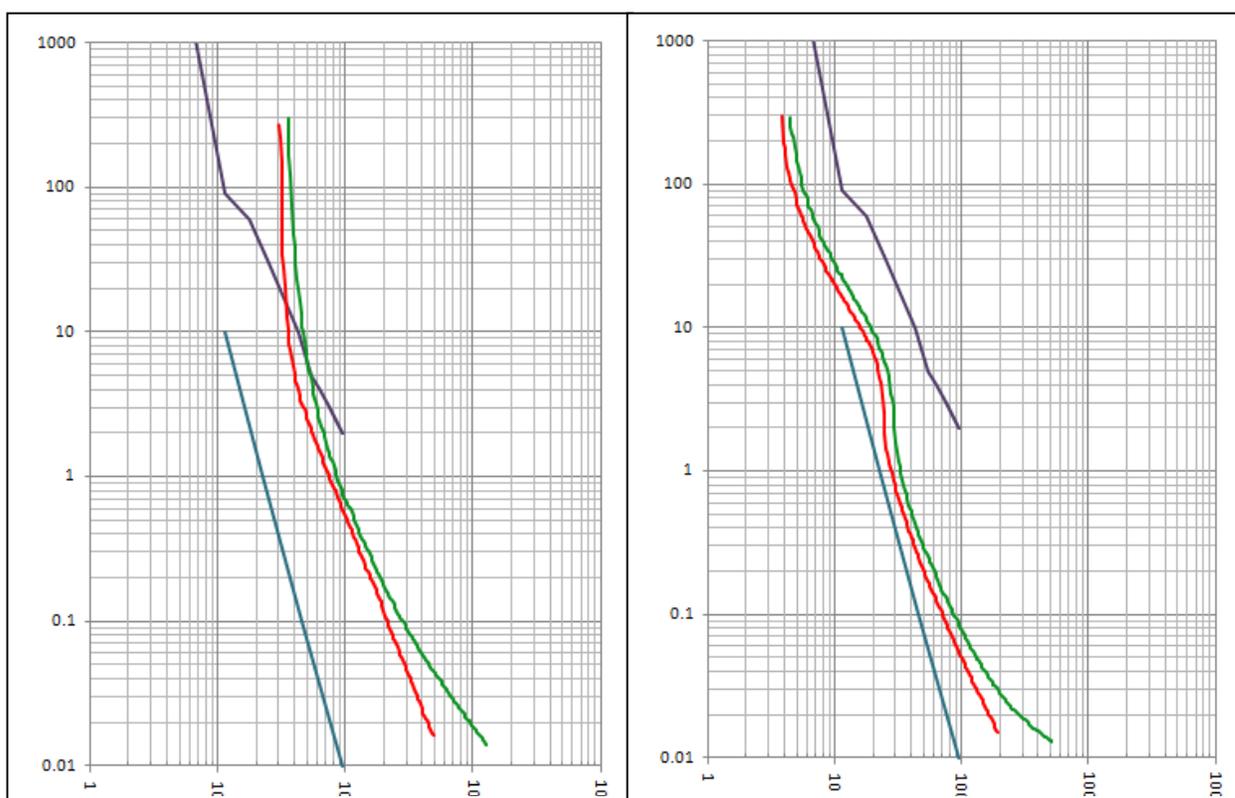
Potencia: 90 kVA (antes 350 kVA), Potencia medida: 75 kVA

Tabla 4.11 Datos del transformador 7 sugerido

Transformador Trifásicos	
Sn(kVA)	90
Un(kV)	13.8
In(A)	3.77
Curva Inrush-Carga Fría	1
Curva Daño Térmico	1

a) Coordinación existente
con fusible 15 K

a) Coordinación propuesta final
con fusible dual de 1.3 A



Fuente: Aplicación OETB de excel

Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

Figura 4.9 Coordinación de protecciones del transformador 7 sugerido.

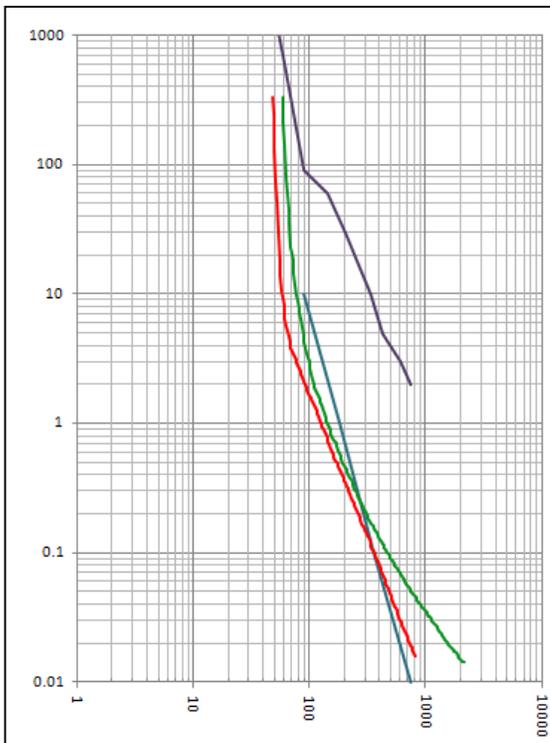
4.5.10 Coordinación de protecciones para el transformador 8.

Potencia: 720 kVA, Potencia medida: 210 kVA

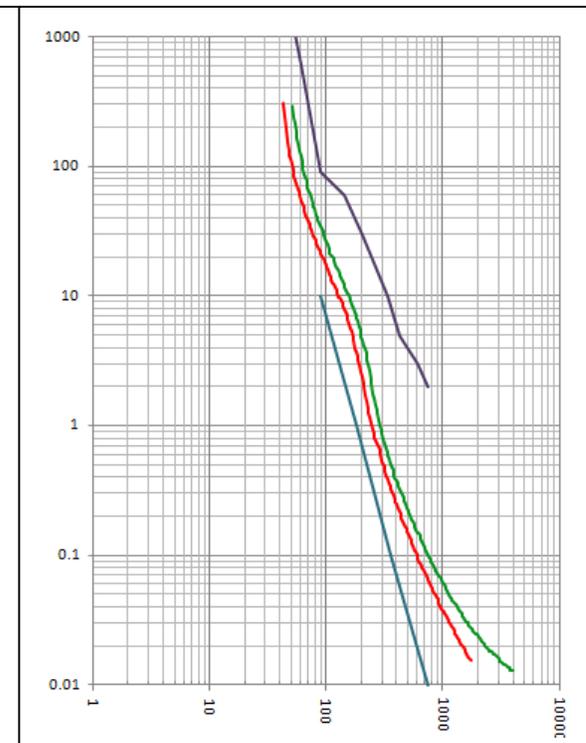
Tabla 4.12 Datos del transformador 8

Transformador Trifásicos	
Sn(kVA)	720
Un(kV)	13.8
In(A)	30.1
Curva Inrush-Carga Fría	1
Curva Daño Térmico	1

a) Coordinación existente con fusible 25 K



a) Coordinación propuesta inicial con fusible dual de 14.0 A



Fuente: Aplicación OETB de excel

Figura 4.10 Coordinación de protecciones transformador 8.

En esta coordinación de protecciones de la figura 4.10 se puede observar que el fusible de 25 K debe activarse con un inrush de carga, pero esto no ocurre por cuanto la carga es baja, esto se comprueba midiendo, la cual no supera los 210 kVA, es decir si sobrecargamos un 20 %, obtenemos una carga aproximada de 250 kVA y esta debería ser la potencia requerida de un transformador, por lo tanto si coordinamos para un transformador de 250 kVA estamos protegiendo adecuadamente al sistema.

4.5.11 Coordinación de protecciones para el transformador 8.sugerido

Nota 3.- Considerando que la potencia medida de la carga del transformador 8 no supera los 210 kVA, según tabla 3.4, la coordinación **sugerida** se realizará para un transformador con una potencia igual de 250 kVA

Potencia: 250 kVA (antes 720 kVA), Potencia medida: 210 kVA

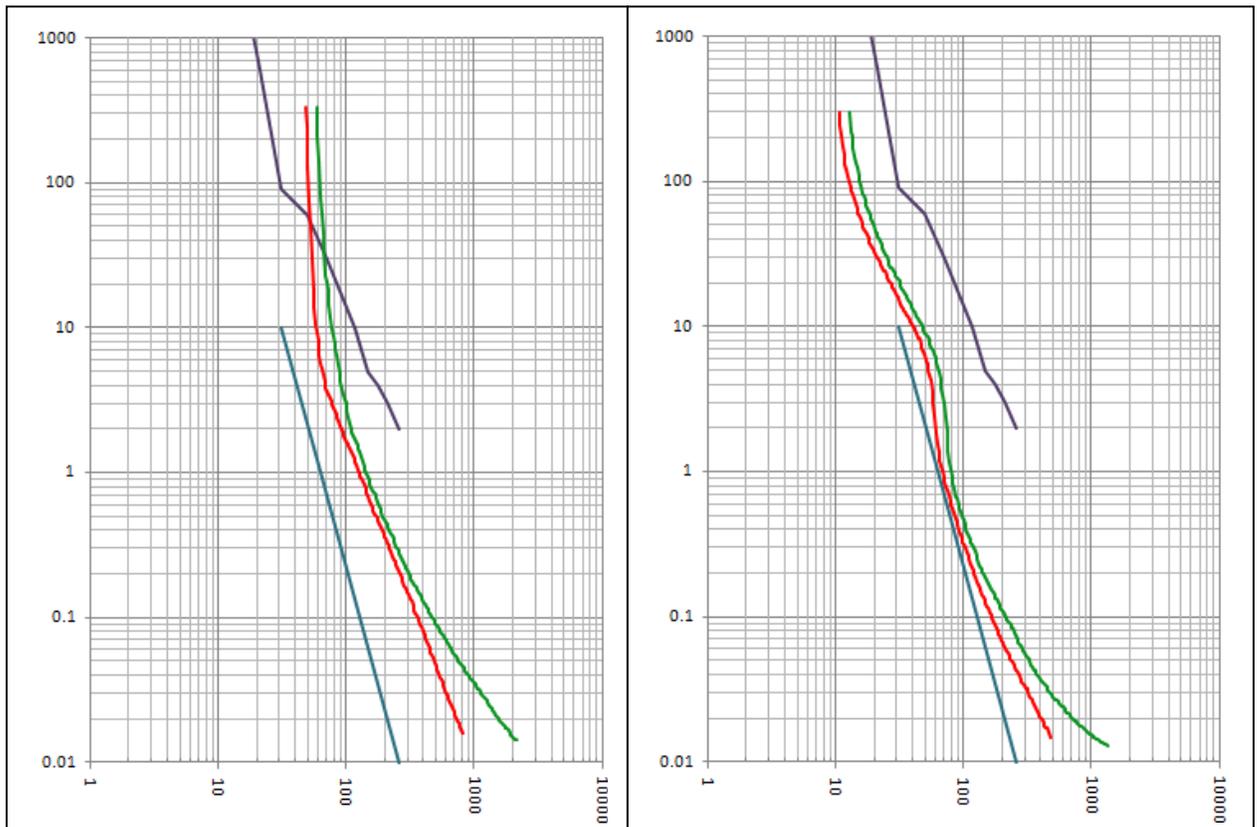
Tabla 4.13 Datos del transformador 8 sugerido

Transformador Trifásicos	
Sn(kVA)	250
Un(kV)	13.8
In(A)	10
Curva Inrush-Carga Fría	1
Curva Daño Térmico	1

Figura 4.11 Coordinación de protecciones del transformador 8 sugerido.

a) Coordinación existente
con fusible 25 K

a) Coordinación propuesta final
con fusible dual de 3.5 A



Fuente: Aplicación OETB de excel

Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

4.5.12 Coordinación de protecciones para el transformador 9.

Potencia: 720 kVA, Potencia medida: 200 kVA

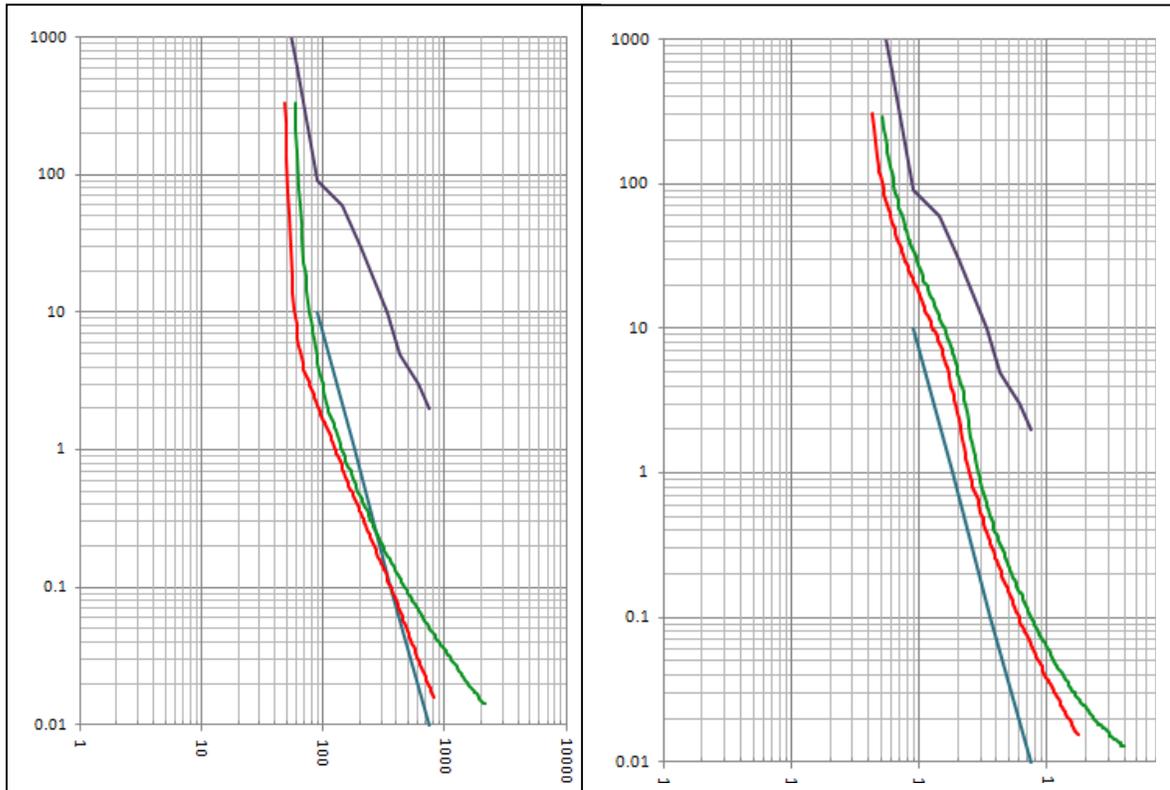
Tabla 4.14 Datos del transformador 9

Transformador Trifásicos	
Sn(kVA)	720
Un(kV)	13.8
In(A)	30.1
Curva Inrush-Carga Fría	1
Curva Daño Térmico	1

Figura 4.12 Coordinación de protecciones transformador 9.

a) Coordinación existente
con fusible 25 K

b) Coordinación propuesta inicial
con fusible dual de 14.0 A



En esta coordinación de protecciones de la figura 4.12 se puede observar que el fusible de 25 K debe activarse con un inrush de carga, pero esto no ocurre por cuanto la carga es baja, esto se comprueba midiendo, la cual no supera los 200 kVA, es decir si sobrecargamos un 25 %, obtenemos una carga aproximada de 250 kVA y esta debería ser la potencia requerida de un transformador, por lo tanto si coordinamos para un transformador de 250 kVA estamos protegiendo adecuadamente al sistema.

4.5.13 Coordinación de protecciones para el transformador 9.sugerido

Nota 4.- Considerando que la potencia medida de la carga del transformador 9 no supera los 200 kVA, según tabla 3.4, la coordinación **sugerida** se realizará para un transformador con una potencia igual de 250 kVA

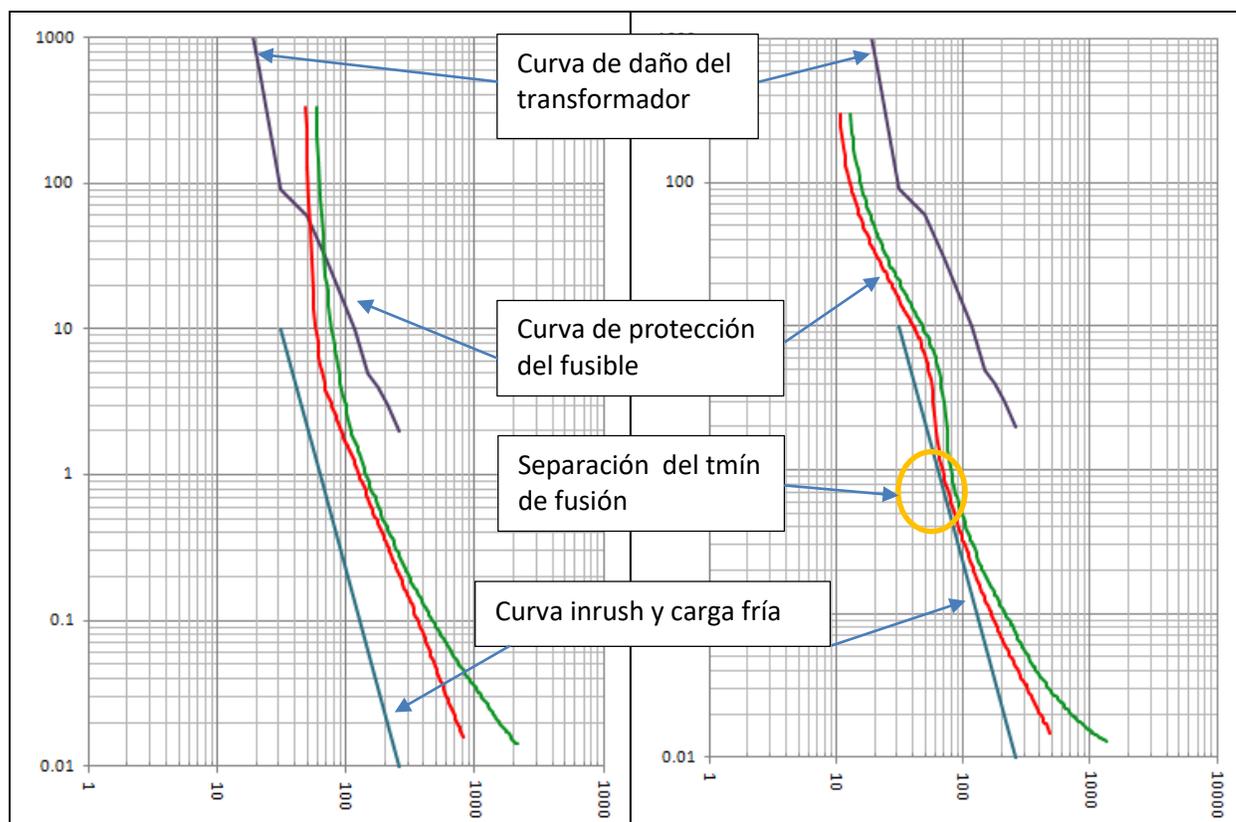
Potencia: 250 kVA (antes 720 kVA), potencia medida: 200 kVA

Tabla 4.15 Datos del transformador 9 sugerido

Transformador Trifásicos	
Sn(kVA)	250
Un(kV)	13.8
In(A)	10,46
Curva Inrush-Carga Fría	1
Curva Daño Térmico	1

a) Coordinación existente
con fusible 25 K

b) Coordinación propuesta final
con fusible dual de 3.5 A

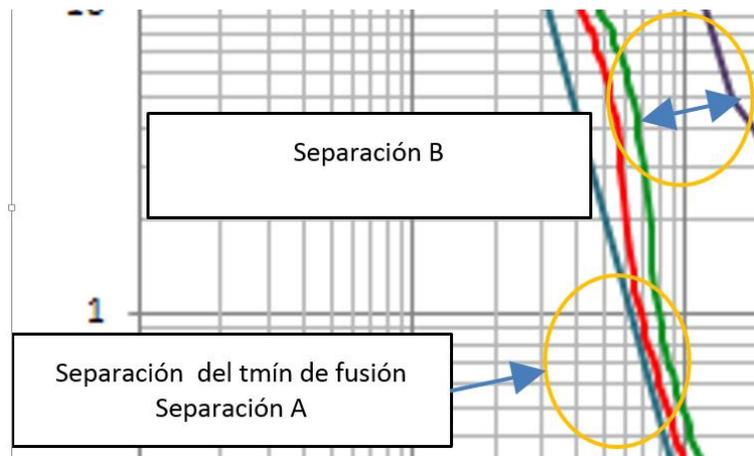


Fuente: Aplicación OETB de excel

Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

Figura 4.13 Coordinación de protecciones del transformador 9 sugerido.

En la figura 4.13 se aprecia que la curva roja de tiempo mínimo de fusión se encuentra cercana a la curva de inrush carga fría



Fuente: Aplicación OETB de excel

Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

Figura 4.14 Separación de la curva inrush y del daño del transformador

En esta figura 4.14 se aprecia que la separación A es menor a la separación B, esta relación es la que se debe preferir por cuanto la separación B permite coordinar de mejor forma cuando se coordine con otro fusible aguas arriba, que resultan entre fusibles o conocido como coordinación entre fusibles de línea.

4.5.14 Coordinación de protección para el fusible: Sf

La capacidad del fusible Sg debe ser igual o mayor al fusible S9, porque únicamente es de paso y sirve únicamente para seccionar.

Para coordinar la protección entre S9 y Sf, se selecciona el transformador de 250 kVA – hangares (antes 720 kVA), debido a que se ha comprobado experimentalmente que es el que tiene mayor carga, aproximadamente 210 kVA.

En el diagrama ETAP 12.6, la corriente de cortocircuito en el bus 22 para el fusible S8 Icc es de 8.7 kA, sin embargo de acuerdo a la tabla de conductores XLPE, según el catálogo de procables y con el fin de proteger a los conductores, de este catálogo se

escoge la mínima corriente de cortocircuito cuyo valor es de 1.8 kA. (PROCABLES, 2000, pág. 29)

- La mínima corriente de cortocircuito cuyo valor es de 1.8 kA.
- La corriente inrush y carga fría es igual a la $I_{servicio}=17.15$ A (medida).
- Para la curva térmica del cable: escogemos para un cable Calibre 2-4
- El fusible debe estar entre las curvas: del inrush del cable y del daño del cable.
- También debe estar sobre las curvas del fusible del transformador de 250 kVA.
- Además debe cortar en la I_{cc} , sobre 0.013 s
- Potencia: 250 kVA (antes 720 kVA), potencia medida: 200 kVA

Tabla 4.16 Datos de corriente de cortocircuito para el fusible Sf

Corriente de Cortocircuito			Corriente de Inrush y Carga Fría		
Máxima	1200	1	Corriente	17,15	1
Mínima	1000	0			

Fuente: Aplicación OETB de excel

Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

La corriente de cortocircuito de la tabla 4.16 se determinó en 1200 A considerando que tenemos cable XLPE subterráneo y en condiciones de humedad. Los valores de corriente inrush y carga fría se determinaron utilizando el software ETAP 12.6

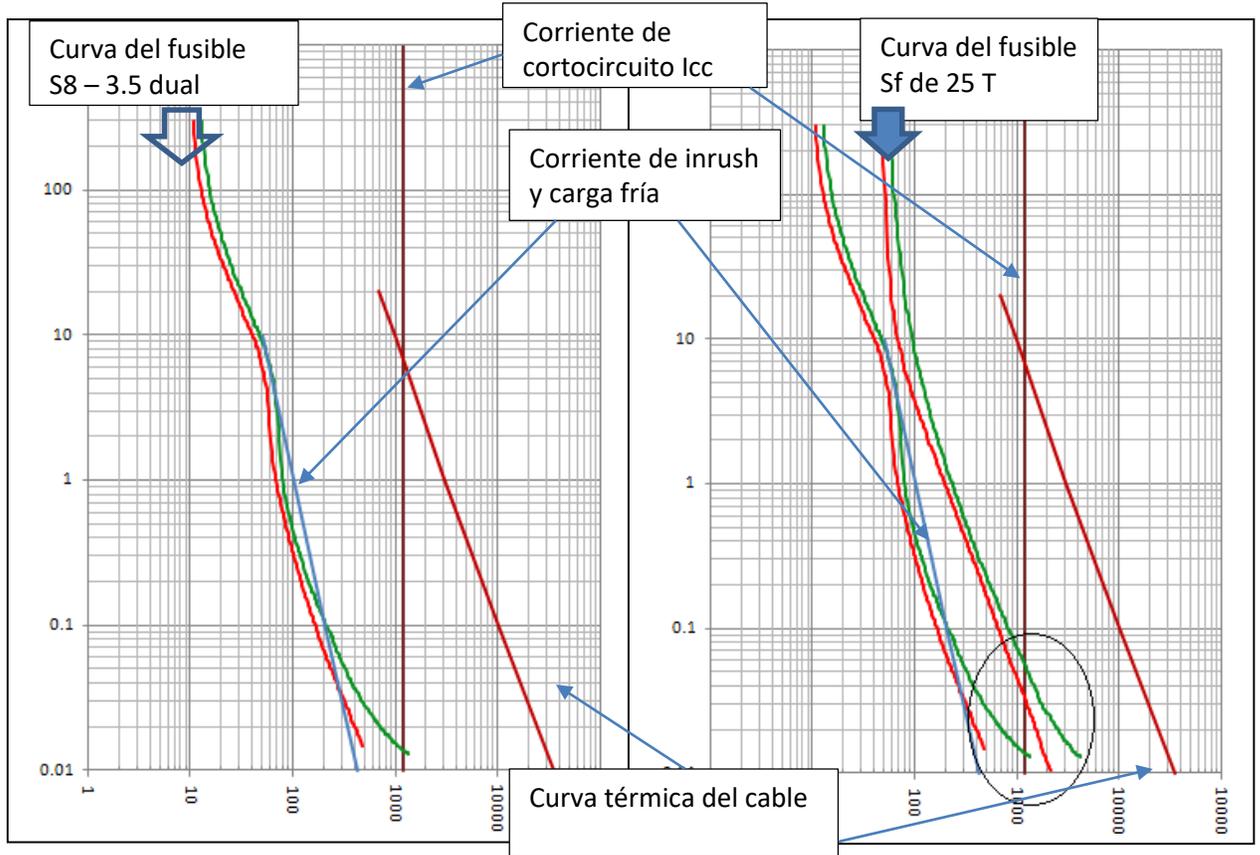
Nota 5.- El fusible Sf existente es de 50k, cuya curva está sobre la del de 25T, lo cual dificulta la coordinación aguas arriba y en vista que se redujo el valor de la potencia de los transformadores, no se dibujó, únicamente se deja constancia que si podemos seleccionar y trabajar con un fusible de baja capacidad, la coordinación es mejor.

Nota 6.- Los seccionadores Se y Sd son únicamente seccionadores tipo switch, aunque internamente están con fusibles de 50T, se utiliza solo para seccionar en caso de emergencia o mantenimiento.

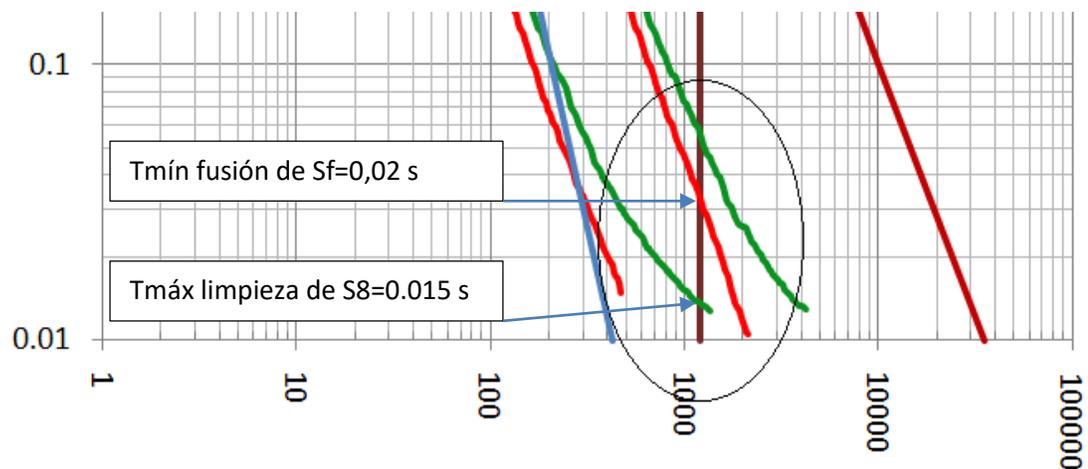
Figura 4.15 Coordinación de protecciones con fusibles de línea: S8 y Sf

a) Coordinación existente del fusible S8 de 3.5 dual

b) Coordinación propuesta con fusible Sf fusible de 25T



c) Determinación de tiempos de la coordinación entre dos fusibles 3.5 dual y 25 T



Fuente: Aplicación OETB de excel

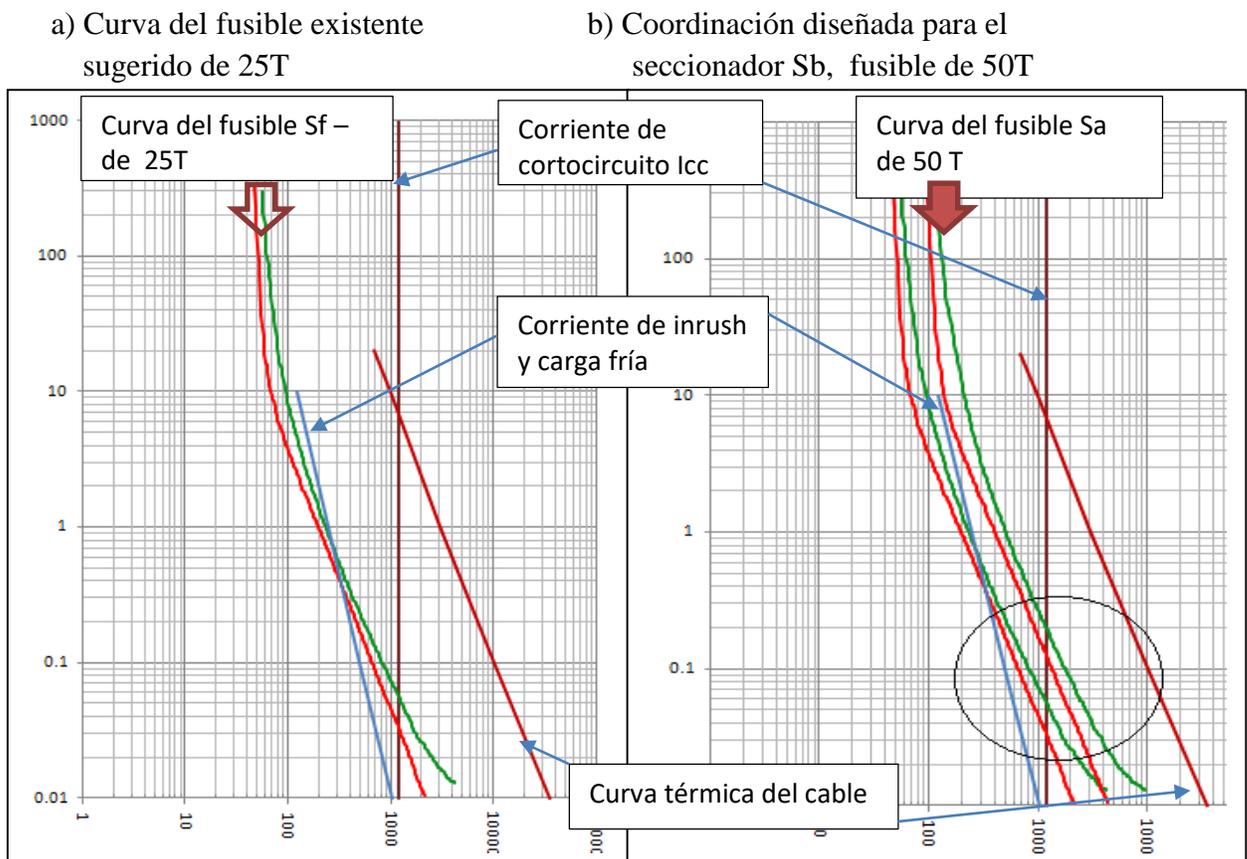
Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

En la figura 4.15 se tiene $t_{\text{máx de limpieza}} = 0.015 \text{ s}$ y de acuerdo a la ecuación del criterio para seleccionar fusibles, el $t_{\text{mín de fusión}}$ del fusible sobre el de 3.5 dual debe ser $\geq 0.02\text{s}$ y en este caso es de 0.03seg , por lo tanto está coordinado el fusible Sf

4.5.15 Coordinación entre fusibles de línea: Sf y Sb

Para esta coordinación se utiliza el fusible coordinado Sf de 25T y se utilizará la corriente de servicio de 40 A, la misma que se aprecia en el diagrama ETAP 12.6. Cabe mencionar que el fusible **Sa** colocado por la empresa eléctrica es del tipo 50T, es decir no debemos sobrepasar este valor por cuanto la empresa eléctrica ya tiene coordinadas las protecciones aguas arriba

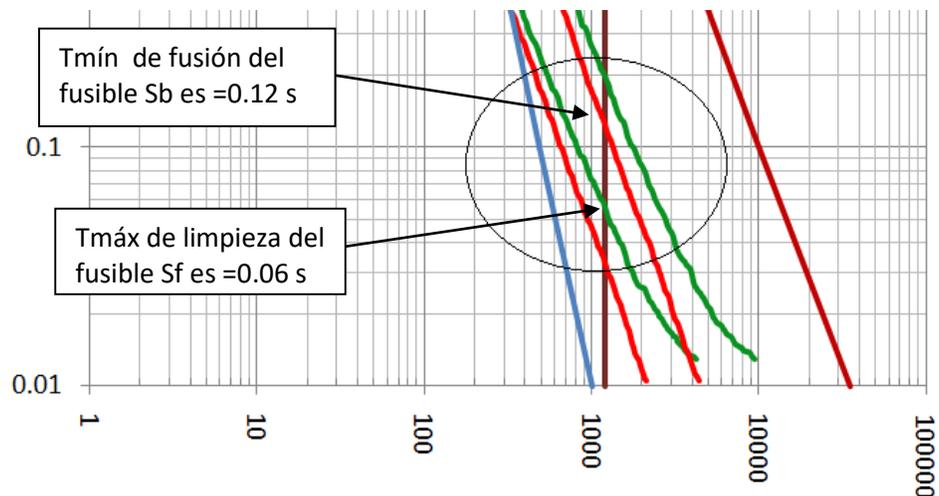
Figura 4.16 Coordinación de protecciones entre fusibles de línea: Sf y Sb



Fuente: Aplicación OETB de excel

Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

c) Coordinación entre dos fusibles Sf (25T) y Sb (50T)



Fuente: Aplicación OETB de excel

Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

En la figura 4.16 c) de coordinación de los fusibles de línea tenemos $t_{m\acute{a}x}$ de limpieza = 0.06 s y de acuerdo a la ecuación del criterio para seleccionar fusibles, el $t_{m\acute{i}n}$ de fusión del fusible sobre el de 50T debe ser $\geq 0.08s$ y en este caso es de 0.12seg, por lo tanto están coordinados los fusible Sf y Sb.

4.5.16 Resultados de coordinación de protecciones eléctricas resultantes

Tabla 4.17 Protecciones resultantes

ITEM	DESCRIPCIÓN	Datos de placa	Carga media		POTENCIA sugerida	PROTECCION:
			POTENCIA MEDIDA	POTENCIA		EXISTENTE / SUGERIDA
1	TRANSFORMADOR 1 - EMDA, TRANSPORT.	150 kVA	75	kVA	75 kVA	10K / 3.5 DUAL
2	TRANSFORMADOR 2 - COMUNICACIONES	100 kVA	50	kVA	100 kVA	8K / 2.1 DUAL
3	TRANSFORMADOR 3 - COMISARIATO	150 kVA	75	kVA	150 kVA	10K / 3.1 DUAL
4	TRANSFORMADOR 4 - POLICLINICO	100 kVA	50	kVA	100 kVA	8K / 2.1 DUAL
5	TRANSFORMADOR 5 - RAYOS X	100 kVA	40	kVA	100 kVA	8K / 2.1 DUAL
6	TRANSFORMADOR 6 - BLOQUE 18-19	720 kVA	200	kVA	250 kVA	25K / 3.5 DUAL
7	TRANSFORMADOR 7 - Casino-cocina-comedor	350 kVA	75	kVA	90 kVA	16K / 1.3 DUAL
8	TRANSFORMADOR 8 - HANGAR 23 - CEMA	720 kVA	225	kVA	250 kVA	25K / 3.5 DUAL
9	TRANSFORMADOR 9 - ETFA	720 kVA	200	kVA	250 kVA	25K / 3.5 DUAL

Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

En la tabla 4.17 se aprecian los valores de las protecciones existentes y las sugeridas, además se aprecian los valores de los transformadores que se sugieren sean cambiados por cuanto están sobredimensionados

Tabla 4.18 Protecciones resultantes

SECCIONADORES EXISTENTES		PROTECCIÓN:	
ITEM	DESCRIPCION	EXISTENTE / SUGERIDA	
10	SECCIONADOR TIPO TIRAFUSIBLE - Sb	50 K	/ 50T
11	SECCIONADOR TIPO TIRAFUSIBLE - Sc	tipo switche 10 k	/ 10 k
12	SECCIONADOR TIPO TIRAFUSIBLE - Sd	tipo switch 50 K	/ 50 k
13	SECCIONADOR TIPO TIRAFUSIBLE - Se	tipo switch 50 K	/ 50 k
14	SECCIONADOR TIPO TIRAFUSIBLE - Sf	50 K	/ 25T
15	SECCIONADOR TIPO TIRAFUSIBLE - Sg	25 K	/ 25 K

Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

En la tabla 4.18 se aprecian los valores de protección existentes y las sugeridas, únicamente difieren en la protección del seccionador Sf, las demás protecciones se sugieren mantener en el mismo valor por cuanto están colocadas únicamente como seccionadores tipo switche.

4.5.17 Evaluación socio-económico de la propuesta.

Considerando que toda institución sea industrial o académica, para desarrollar sus actividades requieren el suministro continuo de energía eléctrica, una propuesta para evitar cortes debido a la falta de coordinación de protecciones eléctricas, es aplicando la selectividad del fusibles, tal que la curva de funcionamiento del fusible seleccionado trabaje dentro de las curvas de funcionamiento del transformador (curva de daño térmico y curva inrush carga fría). El alimentador de la Base Aérea Cotopaxi continuamente presentaba cortes de energía eléctrica debido a sobrecargas eléctricas, esta situación incomodaba no solo a las dependencias del Reparto Militar sino también a la empresa eléctrica ELEPCO S.A., la misma que continuamente informa al CENACE sobre los cortes de energía imprevistos, en vista de esto varias veces han comunicado que se debe revisar el sistema eléctrico.

Ante este pedido, desde aproximadamente dos años se han procedido a revisar las acometidas eléctricas determinando que no existen fallas. Debido a este problema la empresa eléctrica realizó un estudio de protecciones, pero aguas arriba del medidor de energía eléctrica y determinaron que el fusible Sb debía ser del tipo 50K. Posteriormente se determinaron que los cortes continuaban y con este trabajo de investigación se trata de dar solución a este problema

La propuesta del reemplazo de las protecciones eléctricas se realizó casi en su totalidad, solamente falta el reemplazo de transformadores, los mismos que aún no se realizan debido a la falta de recursos económicos.

4.5.18 Análisis del impacto en el reemplazo de las protecciones eléctricas

Considerando que las dependencias o sectores afectados por los cortes de energía eléctrica son: Unidad de Gestión de Tecnologías, ETFA, EPAE, Base Aérea Cotopaxi, Aeropuerto Internacional Cotopaxi, Torre de Control del Aeropuerto. En base a las unidades de recursos humanos se han determinado los sectores afectados por la falta de suministro eléctrico y en base a datos de la Sección Finanzas, se han obtenido las siguientes pérdidas por corte de energía eléctrica, en aproximadamente una hora:

Tabla 4.19 Personal afectado por cortes de energía eléctrica

NÚMERO DE PERSONAL QUE LABORAN EN LAS INSTITUCIONES DE LA BASE AÉREA COTOPAXI			
INSTITUCIÓN	PERSONAL MILITAR	SERVIDORES PÚBLICOS	ALUMNOS
ETF A	74	24	90
EPAE	42	3	232
UGT	22	90	450
BACO	204	72	0
AEROPUERTO	15	4	
TOTAL/PERSONAL	357	193	772
Costo cada hora (en dólares)	9,37	5,35	2,12
Costo / total personal (en dólares)	3.345,09	1.032,55	1.636,64
FACTOR TRABAJO	0,5	0,5	0,01
Subtotal (en dólares)	1672,55	516,28	16,37

TOTAL PÉRDIDAS EN DÓLARES POR UNA HORA DE SUSPENSIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	2.205,19
--	----------

Fuente: Sección Recursos Humanos de la Base Aérea Cotopaxi

Elaborado por: Investigador ACOSTA Hernán

Para este análisis se debe considerar que:

El personal que realizará la gestión energética, pertenece a este Reparto Militar y no percibirá remuneración extra por esta gestión. Por lo tanto el análisis únicamente se calculará en función de los costos de los equipos a implementar y de las pérdidas ocasionadas por cortes del suministro de energía eléctrica, es decir tenemos que:

Costo por una hora de suspensión de energía eléctrica = \$2.205,19

TOTAL PÉRDIDAS: = \$2.205,19

Costo fusibles dual (diferentes valores) 10x3x\$10 = \$ 300,00

Imprevistos: = \$ 600,00

TOTAL INVERSIÓN: = \$ 900,00

El costo de los imprevistos se refieren al cambio de seccionadores y reconstrucción de puntas terminales de medio voltaje.

Análisis de INVERSIÓN vs AHORRO:

Antes del diseño se tenían aproximadamente 4 cortes de energía al año, debido a la descoordinación de protecciones, a partir de la implementación en este año no se han tenido ningún corte debido a la coordinación de protecciones.

Para este análisis se considera únicamente el tiempo de reparación, que cada corte de energía eléctrica debido a la descoordinación de protecciones, dura aproximadamente 1 hora, es decir:

Antes del diseño: Pérdidas = 4 veces al año x \$ 2.205,19 = \$ 8.820,76

Después del diseño: Pérdidas = 0 veces al año x \$ 2.205,19 = \$ 0,00

En este caso se tiene un ahorro parcial de: \$ 8.820,76

A este ahorro se debe descontar el valor a pagar por la potencia no consumida.

Considerando que la planilla mensual promedio es de \$8.500,00 se tiene:

$$\text{Consumo por hora} = \frac{\$ 8.500,00}{30 \text{ días} \times \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}}} \times 4 \text{ horas}$$
$$\text{Consumo en 1 año} = \$ 47,22$$

Resultando un ahorro neto anual de: \$ (8.820,76 -47,22) = \$8.773,54

Ahora si se divide la INVERSIÓN por el AHORRO, se tiene:

$$\frac{\text{INVERSIÓN}}{\text{AHORRO NETO ANUAL}} = \frac{\$ 900,00}{\$ 8773,54} = 10,26\%$$

Analizando este indicador, se deduce que un valor superior a 10,26 % indicaría que la implementación del diseño de protecciones eléctricas no es recomendable. Es decir si después de implementar el diseño se obtiene una falla eléctrica durante el año, resultan pérdidas por un valor de \$ 2.205,19 y el ahorro se reduce a:

Ahorro anual neto: \$8.820,76-\$2.205,19-\$47.22/4 = \$6.603,77

$$\frac{\text{INVERSIÓN}}{\text{AHORRO NETO ANUAL}} = \frac{\$ 900,00}{\$ 6.603,77} = 13,62\%$$

Con esto se comprueba que un indicador mayor a 10,26% implica que hay cortes inesperados de energía eléctrica.

Adicional al análisis de las variaciones de los indicadores una forma de interpretar la eficiencia energética es analizando en función del bienestar del usuario.

4.5.19 Estudio de la confiabilidad del sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi

El estudio de confiabilidad se realizó bajo las siguientes consideraciones:

- Antes del diseño

- Después del diseño
- Tasa de fallas en redes, en transformadores es cero, debido a que es un sistema eléctrico pequeño y robusto, con conductores #250 MCM.
- Para la tasa de fallas se consideró un período de dos años, en los cuales se tenía cuatro fallas al año, y luego de considerar el diseño de coordinación de protecciones se tiene 1 falla cada año (en el seccionador principal de entrada)

$m_i = t_{tff_i}$ = tiempo que tarda en fallar un equipo que se encuentra funcionando correctamente.

$r_i = t_{tri}$ = tiempo de reparación

λ = tasa de fallas, # de fallas por período de estudio (2 años) [#fallas/año] tiempo que tarda

en retornar un equipo que se encuentra en su estado de falla a su estado normal.

$\lambda_1 = 8 \text{ fallas} / 2 \text{ años} = 4 \text{ fallas/año}$ (antes del estudio)

$\lambda_2 = 1 \text{ falla} / 2 \text{ años} = 1 \text{ falla / año}$ (después del estudio)

$$1/\lambda = \text{MTTF} = \text{promedio entre todos los ttf} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

$$r = \text{tiempo de reparación} = \text{MTTR} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

$$\mu = \text{tasa de reparaciones} = 1/r \quad \text{Ecuación 4.3}$$

$r = 1 \text{ hora}$ (dato tomado de forma práctica)

U = tiempo anual de desconexión esperado o indisponibilidad forzada.

$$U = \lambda \cdot r = \lambda / (\lambda + \mu) \quad \text{Ecuación 4.4}$$

$$U = \text{MTTF} / (\text{MTTF} + \text{MTTR}) \quad \text{Ecuación 4.5}$$

$$U = \mu / (\lambda + \mu) \quad \text{Ecuación 4.6}$$

A = disponibilidad forzada

$$A = 1 - U \quad \text{Ecuación 4.7}$$

$$A = \text{MTTF} / (\text{MTTF} + \text{MTTR}) \quad \text{Ecuación 4.8}$$

$$A = \lambda / (\lambda + \mu) \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Índices orientados a la potencia y energía

C_m = carga media en cada punto de carga

$$C_m = \text{Energía total} / \text{tiempo} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

$$C_m = f_c \times D_{\text{máx}} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

ENS (Energy Not Supplied): Energía no suministrada

$$\text{ENS} = \sum C_m \times U_i \quad \text{Ecuación 4.12}$$

4.5.20 Configuraciones básicas de confiabilidad

Sistema serie

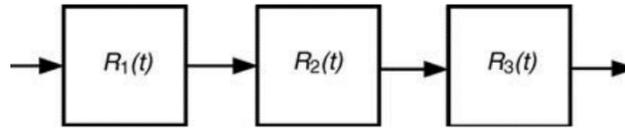


Figura 4.17 Configuración en serie

Fuente: (ZARUMA & BLACIO, 2012, pág. 23)

Cada componente tiene su propia tasa de falla λ y confiabilidad $R(t)$

$$R(t) = R_1(t) \times R_2(t) \times R_3(t) \times \dots \times R_n(t) \quad \text{Ecuación 4.13}$$

La tasa de falla del sistema en serie:

$$\lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_n \quad \text{Ecuación 4.14}$$

La probabilidad de falla del sistema serie es:

$$Q_s(t) = 1 - R_s(t) \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Sistema paralelo

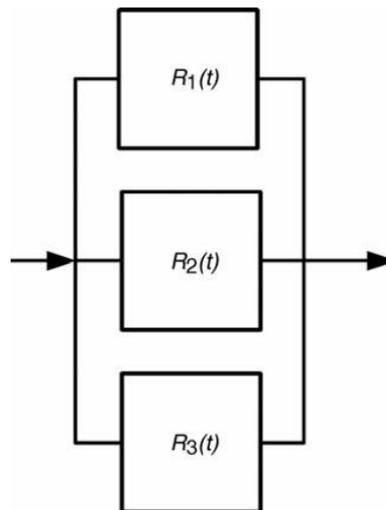


Figura 4.18 Configuración en paralelo

Fuente: (ZARUMA & BLACIO, 2012, pág. 24)

Cada componente tiene su propia tasa de falla λ y confiabilidad $R(t)$

4.5.21 Energía no suministrada por fallas ENS antes del estudio de protecciones eléctricas

Para este sistema eléctrico se tienen 9 transformadores, los cuales constituyen 9 ramales a ser considerados, con sus respectivos elementos (ver diagrama unifilar en anexo 8)

Tabla 4.20 Índices de fallas por año y tiempo de reparación antes del estudio de protecciones eléctricas

DATOS ANTES DE REALIZAR EL ESTUDIO DE PROTECCIONES												
ELEMENTO	Sb		RED		Si		TRANSF i		Fusible NHi		Sf	
CARGA	λ_1	r1	λ_2	r2	λ_i	Ri	λ_i	ri	λ_i	ri	λ_i	ri
CARGA 1	4	1	0	5	1	1	0	10	1	1		
CARGA 2	4	1	0	5	0	1	0	10	0	1		
CARGA 3	4	1	0	5	0	1	0	10	0	1		
CARGA 4	4	1	0	5	0	1	0	10	0,5	1		
CARGA 5	4	1	0	5	0	1	0	10	0	1		
CARGA 6	4	1	0	5	1	1	0	10	1	1		
CARGA 7	4	1	0	5	0	1	0	10	0	1		
CARGA 8	4	1	0	5	0	1	0	10	0	1	0,5	1
CARGA 9	4	1	0	5	1	1	0	10	1	1	0,5	1

i= 1 - 30 (ver diagrama unifilar en anexo 8)

λ_i = [fallas/año]

ri=tiempo de reparación [horas]

En la tabla 4.20 se aprecia que las fallas por año del seccionador principal Sb afectan a todo el sistema, por cuanto está en serie con cada transformador.

Tabla 4.21 Cálculo de las fallas de cada ramal que alimenta a los transformadores

Cálculo de rT1			
Cálculo de fallas por año		rTi=Σ λi * ri/ Σ λi	
λ T1=	6 fallas/año	1 h	rT1= (λ 1*r1+λ2*r2+λ 3*r3+λ 4*r4+λ 5*r5)/(λ T1)
λ T2=	4 fallas/año	1 h	rT2= (λ 1*r1+λ2*r2+λ 6*r6+λ7*r7+λ8*r8)/(λ T2)
λ T3=	4 fallas/año	1 h	rT3= (λ 1*r1+λ2*r2+λ9*r9+λ10*r10+λ11*r11)/(λ T3)
λ T4=	4,5 fallas/año	1 h	rT4= (λ 1*r1+λ2*r2+λ12*r12+λ13*r13+λ14*r14)/(λ T4)
λ T5=	4 fallas/año	1 h	rT5= (λ 1*r1+λ2*r2+λ15*r15+λ16*r16+λ17*r17)/(λ T5)
λ T6=	6 fallas/año	1 h	rT6= (λ 1*r1+λ2*r2+λ18*r18+λ19*r19+λ20*r20)/(λ T6)
λ T7=	4 fallas/año	1 h	rT7= (λ 1*r1+λ2*r2+λ21*r21+λ22*r22+λ23*r23)/(λ T7)
λ T8=	4,5 fallas/año	1 h	rT8= (λ 1*r1+λ2*r2+λ 24*r24+λ25*r25+λ26*r26+λ27*r27)/(λ T8)
λ T9=	6,5 fallas/año	1 h	rT9= (λ 1*r1+λ2*r2+λ 24*r24+λ28*r28+λ29*r29+λ30*r30)/(λ T9)

En esta tabla 4.21 se tiene que las fallas por año más altas están en los transformadores T1, T6 y T9.

Tabla 4.22 Cálculo de la energía no suministrada por fallas antes del estudio de coordinación de protecciones eléctricas

CALCULO DE $Us = \sum \lambda_i * r_i$		Potencia media de Transformadores		ENERGÍA NO SUMINISTRADA
UsT1=	6 h/año	TRANSFORMADOR 1	75 kW	36 \$/AÑO
UsT2=	4 h/año	TRANSFORMADOR 2	50 kW	16 \$/AÑO
UsT3=	4 h/año	TRANSFORMADOR 3	75 kW	24 \$/AÑO
UsT4=	4,5 h/año	TRANSFORMADOR 4	50 kW	18 \$/AÑO
UsT5=	4 h/año	TRANSFORMADOR 5	40 kW	12,8 \$/AÑO
UsT6=	6 h/año	TRANSFORMADOR 6	200 kW	96 \$/AÑO
UsT7=	4 h/año	TRANSFORMADOR 7	75 kW	24 \$/AÑO
UsT8=	4,5 h/año	TRANSFORMADOR 8	225 kW	81 \$/AÑO
UsT9=	6,5 h/año	TRANSFORMADOR 9	200 kW	104 \$/AÑO
ENS=				412 \$/AÑO

4.5.22 Energía no suministrada por fallas ENS después del estudio de protecciones

Tabla 4.23 Índices de fallas por año y tiempo de reparación después del estudio de coordinación de protecciones eléctricas

DATOS DESPUÉS DE REALIZAR EL ESTUDIO DE PROTECCIONES												
ELEMENTO	Sb		RED		Si		TRANSF i		Fusible NHi		Sf	
CARGA	λ_1	r1	λ_2	r2	λ_i	Ri	λ_i	ri	λ_i	ri	λ_1	r1
CARGA 1	0,5	1	0	5	0	1	0	10	0,5	1		
CARGA 2	0,5	1	0	5	0	1	0	10		1		
CARGA 3	0,5	1	0	5	0	1	0	10	0	1		
CARGA 4	0,5	1	0	5	0	1	0	10	0,25	1		
CARGA 5	0,5	1	0	5	0	1	0	10	0	1		
CARGA 6	0,5	1	0	5	0	1	0	10	0,25	1		
CARGA 7	0,5	1	0	5	0	1	0	10	0	1		
CARGA 8	0,5	1	0	5	0	1	0	10	0	1	0	1
CARGA 9	0,5	1	0	5	0	1	0	10	0,25	1	0	1

i= 1 - 30 (ver diagrama unifilar en anexo 8)

λ_i = [fallas/año]

ri=tiempo de reparación [horas]

Tabla 4.24 Cálculo de las fallas de cada ramal que alimenta a los transformadores

Cálculo de fallas por año		Cálculo de rT1	
		$rT_i = \sum \lambda_i * r_i / \sum \lambda_i$	
$\lambda T1=$	1 fallas/año	1 h	$rT1 = (\lambda_1 * r1 + \lambda_2 * r2 + \lambda_3 * r3 + \lambda_4 * r4 + \lambda_5 * r5) / (\sum \lambda_i)$
$\lambda T2=$	0,5 fallas/año	1 h	$rT2 = (\lambda_1 * r1 + \lambda_2 * r2 + \lambda_6 * r6 + \lambda_7 * r7 + \lambda_8 * r8) / (\sum \lambda_i)$
$\lambda T3=$	0,5 fallas/año	1 h	$rT3 = (\lambda_1 * r1 + \lambda_2 * r2 + \lambda_9 * r9 + \lambda_{10} * r_{10} + \lambda_{11} * r_{11}) / (\sum \lambda_i)$
$\lambda T4=$	0,8 fallas/año	1 h	$rT4 = (\lambda_1 * r1 + \lambda_2 * r2 + \lambda_{12} * r_{12} + \lambda_{13} * r_{13} + \lambda_{14} * r_{14}) / (\sum \lambda_i)$
$\lambda T5=$	0,5 fallas/año	1 h	$rT5 = (\lambda_1 * r1 + \lambda_2 * r2 + \lambda_{15} * r_{15} + \lambda_{16} * r_{16} + \lambda_{17} * r_{17}) / (\sum \lambda_i)$
$\lambda T6=$	0,8 fallas/año	1 h	$rT6 = (\lambda_1 * r1 + \lambda_2 * r2 + \lambda_{18} * r_{18} + \lambda_{19} * r_{19} + \lambda_{20} * r_{20}) / (\sum \lambda_i)$
$\lambda T7=$	0,5 fallas/año	1 h	$rT7 = (\lambda_1 * r1 + \lambda_2 * r2 + \lambda_{21} * r_{21} + \lambda_{22} * r_{22} + \lambda_{23} * r_{23}) / (\sum \lambda_i)$
$\lambda T8=$	0,5 fallas/año	1 h	$rT8 = (\lambda_1 * r1 + \lambda_2 * r2 + \lambda_{24} * r_{24} + \lambda_{25} * r_{25} + \lambda_{26} * r_{26} + \lambda_{27} * r_{27}) / (\sum \lambda_i)$
$\lambda T9=$	0,8 fallas/año	1 h	$rT9 = (\lambda_1 * r1 + \lambda_2 * r2 + \lambda_{24} * r_{24} + \lambda_{28} * r_{28} + \lambda_{29} * r_{29} + \lambda_{30} * r_{30}) / (\sum \lambda_i)$

Tabla 4.25 Cálculo de la energía no suministrada por fallas después del estudio de coordinación de protecciones eléctricas

CALCULO DE $U_s = \sum \lambda_i * r_i$	Potencia media de Transformadores	ENERGÍA NO SUMINISTRADA
UsT1= 1 h/año	TRANSFORMADOR 1 75 kW	6 \$/AÑO
UsT2= 0,5 h/año	TRANSFORMADOR 2 50 kW	2 \$/AÑO
UsT3= 0,5 h/año	TRANSFORMADOR 3 75 kW	3 \$/AÑO
UsT4= 0,8 h/año	TRANSFORMADOR 4 50 kW	3 \$/AÑO
UsT5= 0,5 h/año	TRANSFORMADOR 5 40 kW	1,6 \$/AÑO
UsT6= 0,8 h/año	TRANSFORMADOR 6 200 kW	12 \$/AÑO
UsT7= 0,5 h/año	TRANSFORMADOR 7 75 kW	3 \$/AÑO
UsT8= 0,5 h/año	TRANSFORMADOR 8 225 kW	9 \$/AÑO
UsT9= 0,8 h/año	TRANSFORMADOR 9 200 kW	12 \$/AÑO
		ENS= 51,6 \$/AÑO

Comparando los datos de las tablas 4.22 y 4.25 se determina que con la coordinación de protecciones eléctricas se reduce el valor de la energía no suministrada por fallas.

CONCLUSIONES GENERALES

1. El sistema eléctrico de la Base Aérea Cotopaxi, ha sufrido varios cambios, especialmente en la coordinación de protecciones, esta situación influye en la confiabilidad del suministro de energía eléctrica, corriendo el riesgo de que se produzca un colapso de la red, con consecuencias graves para el personal usuario del sistema eléctrico y del sistema de suministro eléctrico, tales como daños a los transformadores y líneas de alimentación.
2. El levantamiento de la información o trabajo de campo, previo al diseño de coordinación de protecciones eléctricas consistió en elaborar un inventario integral de todo el sistema, en esta fase se obtuvieron los valores reales o nominales tanto de la existencia de materiales así como las cargas eléctricas, los cuales permitieron posteriormente determinar la correcta selectividad de las protecciones.
3. La implementación de la coordinación de protecciones influye en la confiabilidad del sistema y se evitan cortes eléctricos imprevistos e innecesarios, los cuales afectan el normal desarrollo de las actividades.
4. Además con la implementación de la coordinación de protecciones eléctricas, la Base Aérea Cotopaxi ahorraría aproximadamente 2.000,00 USD, por hora de corte imprevisto, es decir el proyecto resulta económicamente factible comparando con la inversión de 900,00 USD, además el ahorro por energía no consumida reduce de 412 \$/año a 51,6\$/año con esto se comprueba que se ha mejorado la confiabilidad del sistema eléctrico.

RECOMENDACIONES

1. Para ejecutar un nuevo diseño de protecciones eléctricas, se debe realizar un censo de carga, esto permite comparar con otras protecciones existentes, las cuales servirán como punto de comparación.
2. Un sistema eléctrico debe ser monitoreado continuamente con el fin de determinar las variaciones de carga y mantener o reemplazar los transformadores y sus protecciones, con el fin de preservar el sistema y prolongar la vida útil.
3. En vista que las curvas de las protecciones eléctricas, entre 25 T y 50 T, no tienen un comportamiento paralelo y en el momento de analizar su comportamiento con la curva de cortocircuito dificulta su selectividad, se recomienda investigar nuevos materiales para que se diseñen fusibles, que tengan un comportamiento casi paralelo con el fin de coordinar las protecciones con el inmediato superior al de 25T
4. Antes de implementar un sistema de protecciones, estas deben ser simuladas, utilizando algún software, con el fin de no interrumpir el suministro de energía eléctrica, con esto se evitan cortes innecesarios además se debe implementar un sistema SCADA que permita visualizar en tiempo real su comportamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BASE AÉREA COTOPAXI. (2000). *Historia*. Latacunga
- [2] BRAND-MONCADA. (1976). *Protecciones de sistema eléctricos*. Chile: Hugo González
- [3] BROKERING., PALMA., & VARGAS, L. (2008). *Los sistemas eléctricos de potencia*. Naucalpan de Juárez: Pearson
- [4] CONELEC. (2001). *Reglamento del suministro de energía eléctrica*. Quito: Secretaría CONELEC
- [5] CONELEC. (2001). *Regulación 004*. Quito: Secretaría CONELEC
- [6] CONTRERAS, L. B. (1976). *Protecciones de sistemas eléctricos*. Santiago de Chile: Hugo E. González A.
- [7] ENRIQUEZ Harper, G. (2003). *Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales*. México: Limusa
- [8] GÓMEZ, Expósito (2004) *Sistemas eléctricos de potencia – problemas y ejercicios resueltos*. Edit. Prentice Práctica
- [9] GONZÁLEZ, B. H., Arias, J. C., & Tobón, J. J. (2000). *Guías para el buen ajuste y la Coordinación de protecciones del STN*. Itagüi: Ingeniería Especializada
- [10] GRAINGER, J. (1996). *Análisis de sistemas de potencia*. Mexico: McGrawHill
- [11] IBARRA, C. (2011). *Metodología de la investigación*.
- [12] KOTHARI. (2008). *Sistemas eléctricos de potencia*. México: McGraw Hill.
- [13] MÉNDEZ A., C. E. (2003). *Metodología- Diseño y desarrollo del proceso de Investigación* Colombia: McGrawHill
- [14] MURRAY, S (1971). *Valores percentiles para chí cuadrado*
- [15] PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR. (2013-2017). Quito
- [16] RUIZ, R. (2013). *Coordinación de protecciones*. Quito: EPN.
- [17] SALAZAR, G. (2001). *Calidad de suministro eléctrico*. Quito: EPN.
- [18] TORRES, B (2012). *Protecciones eléctricas en sistemas de potencia*. Quito.
- [19] TORRES, B (2012). *Protecciones en los sistemas eléctricos de distribución*. Quito.
- [20] TUBBS, S. (2009) SKM, ETAP, & EDSA. *Power System Analysis Tutorials*. México, Amazon.
- [21] ZARUMA, Luis (2012) Tesis: *Análisis de confiabilidad del sistema de distribución de la empresa eléctrica regional centro sur C.A*. Cuenca.

ANEXOS:

Anexo 1. Ingreso de la línea de la Empresa Eléctrica ELEPCO S.A.



Anexo 2 Cámara de medición en medio voltaje para la Base Aérea Cotopaxi



Anexo 3. Torres de transformación y acometidas en medio voltaje 13.800 voltios

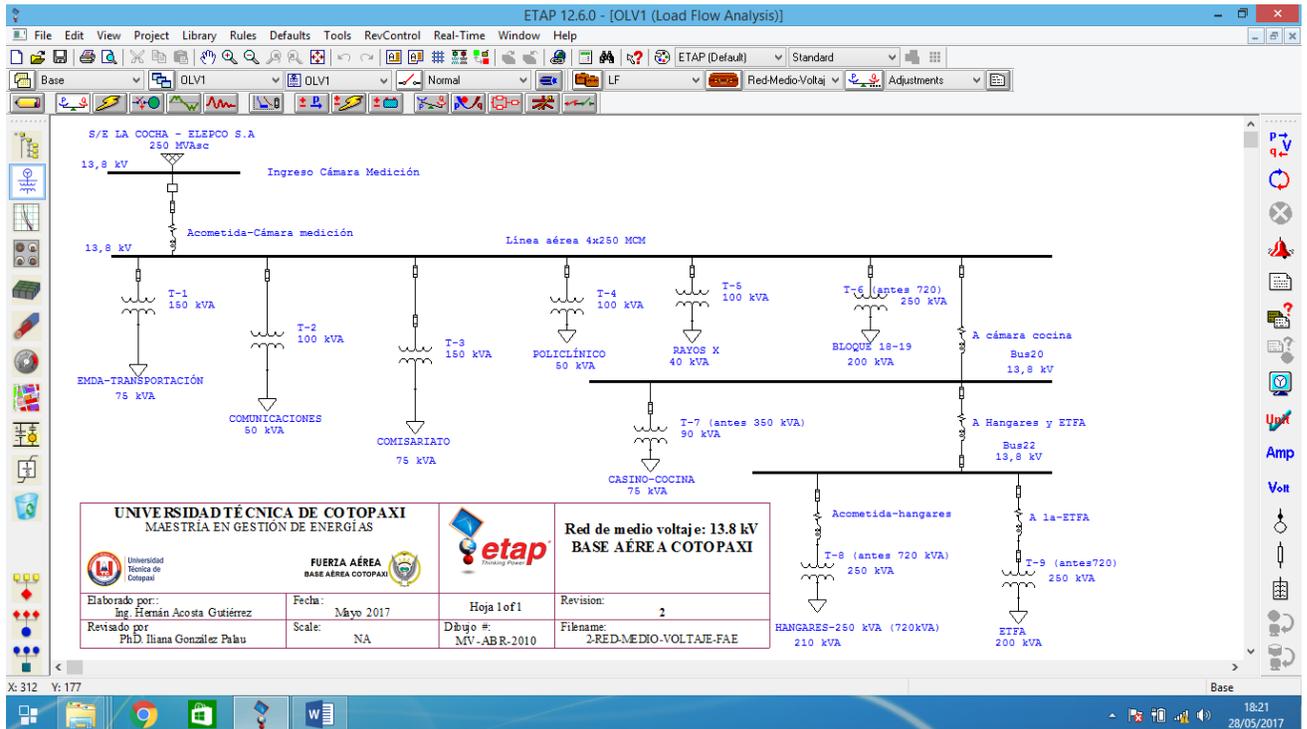


Anexo 4. Equipo utilizado para realizar mediciones para la coordinación de protecciones

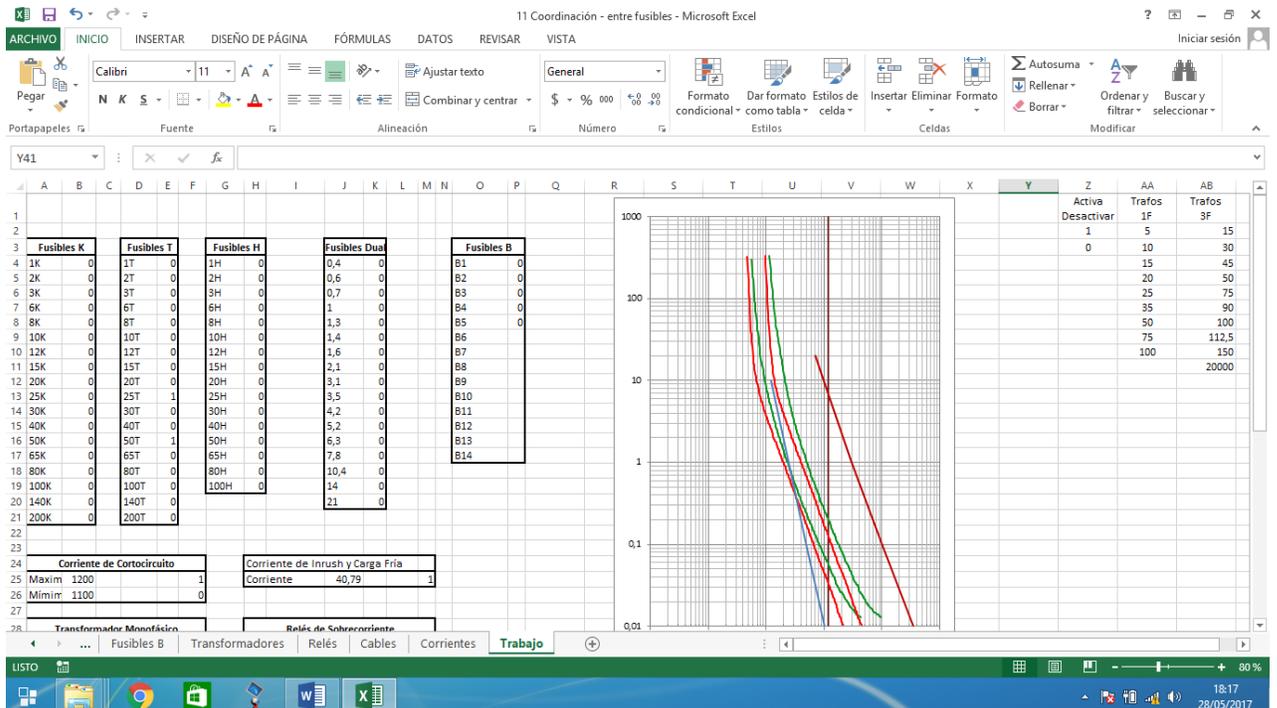


Anexo 5. Software utilizado para realizar para la coordinación de protecciones

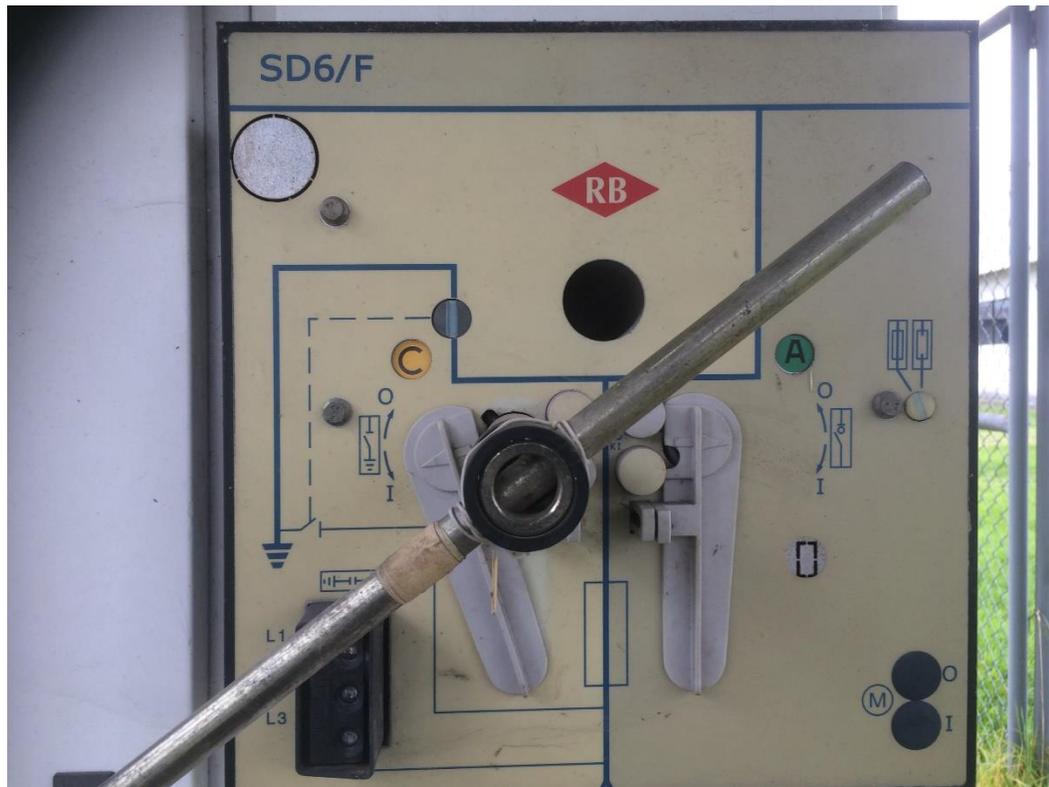
a.- Software ETAP 12.6



b.- Aplicación OETB en Excel para simular el funcionamiento de los fusibles



Anexo 6.- Seccionamiento de la cámara de medición para determinar los valores de las protecciones eléctricas y proceder al reemplazo por las nuevas protecciones diseñadas.





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

CUESTIONARIO

DIRIGIDO A: Personal que labora en la Base Aérea Cotopaxi, encargado del mantenimiento del sistema eléctrico:

- Personal de Comunicaciones
- Personal del EMDA
- Personal de la DIAF
- Personal de la BACO
- Personal de la ETFA
- Personal de la Torre de Control

Pregunta 1: Señale con una (X)

¿Qué tipo de cortes de energía eléctrica han ocurrido? Inesperados ()
Programados ()

Pregunta 2: Conteste.-

¿Interrumpe su ambiente de trabajo un corte inesperado de energía eléctrica? Si () No ()

Gracias su colaboración

Anexo 8.- Diagrama de medio voltaje de la Base Aérea Cotopaxi

DIAGRAMA ELÉCTRICO DE MEDIO VOLTAJE DE LA BASE AÉREA COTOPAXI

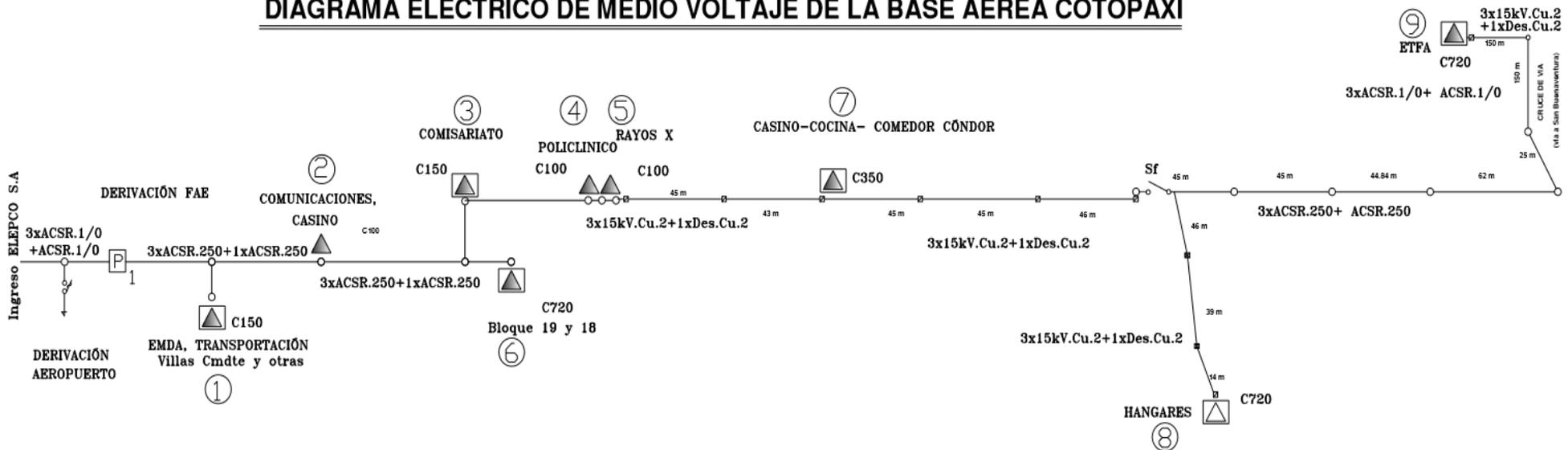
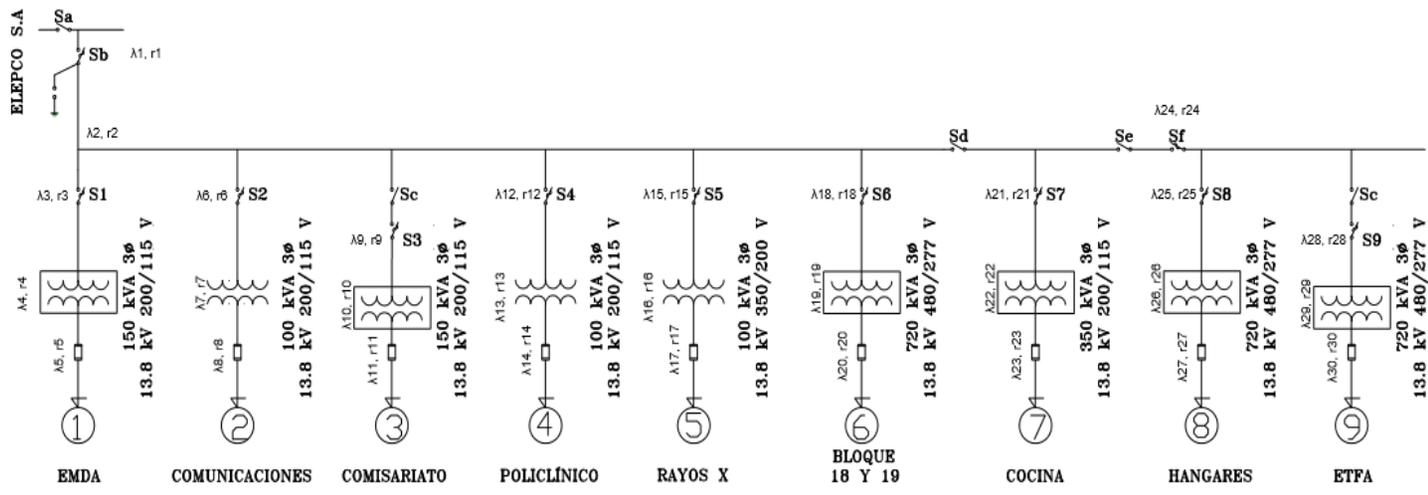


DIAGRAMA ELÉCTRICO UNIFILAR



SIMBOLOGÍA	
	RED AÉREA ACSR TRIFÁSICA
	RED SOTERRADA XLPE TRIFÁSICA 15KV
	TRANSFORMADOR TRIFÁSICO CONVENCIONAL nKVA 13.800 V /200/115-13800V/350/200V-13800 V/ 480/277 V
	TRANSFORMADOR TRIFÁSICO CONVENCIONAL nKVA 13.800 V /200/115-13800V/350/200V-13800 V/ 480/277 V
	CAJA DE REVISIÓN DE 100X100X100cm
	SECCIONADOR 3F UNIPOLAR ABIERTO
	SECCIONADOR 3F DE CUCHILLA UNIPOLAR
	DESCARGADOR A TIERRA
	POSTE DE H.A. DE 12 m.
	IDENTIFICACIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO DEFINIDO POR EL USUARIO
	MEDIDOR ELECTRÓNICO CON PUERTO PARA GESTIÓN MEDICIÓN REMOTA, n CANTIDAD.