



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

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

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

AUTOR: CRISTIAN ABEL JIMÉNEZ PRUNA

DIRECTOR: ING. MIGUEL LUCIO

Latacunga

2015

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

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

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar el diagnóstico del estado actual del sistema de protecciones en el Alimentador 01 de la Subestación "El Calvario" ELEPCO S.A.

Modelar el sistema de protecciones en el Alimentador 01 de la Subestación "El Calvario" ELEPCO S.A.

Rediseñar el sistema de protecciones con la ayuda del paquete computacional ETAP.

Elaborar una Propuesta de Rediseño competente al dimensionamiento de equipos de protección y su coordinación que otorguen confiabilidad del servicio eléctrico.

Analizar los resultados obtenidos en función de la confiabilidad y beneficios logrados con la implementación del sistema.

RESUMEN



En primer lugar se realizó una investigación obteniendo así información acerca del estado actual del sistema de protecciones.

Por otro lado se tomó en cuenta los conceptos de ingeniería dentro de las diferentes líneas de investigación para el rediseño.

En la etapa final se llevó a cabo el rediseño total del área de estudio generando una propuesta y análisis de costos.

INTRODUCCIÓN



A medida que la energía eléctrica cubre más necesidades de confort en las viviendas y en la producción, la disponibilidad y confiabilidad del servicio alcanzan cada vez mayor importancia.

Una excelente confiabilidad del 99,9% resulta en cerca de 9 horas de privación del servicio en el año.

Debe primar entonces la seguridad de las operaciones en los sistemas eléctricos tanto en mantenimiento, disponibilidad de equipos y la rapidez de respuesta ante una falla.

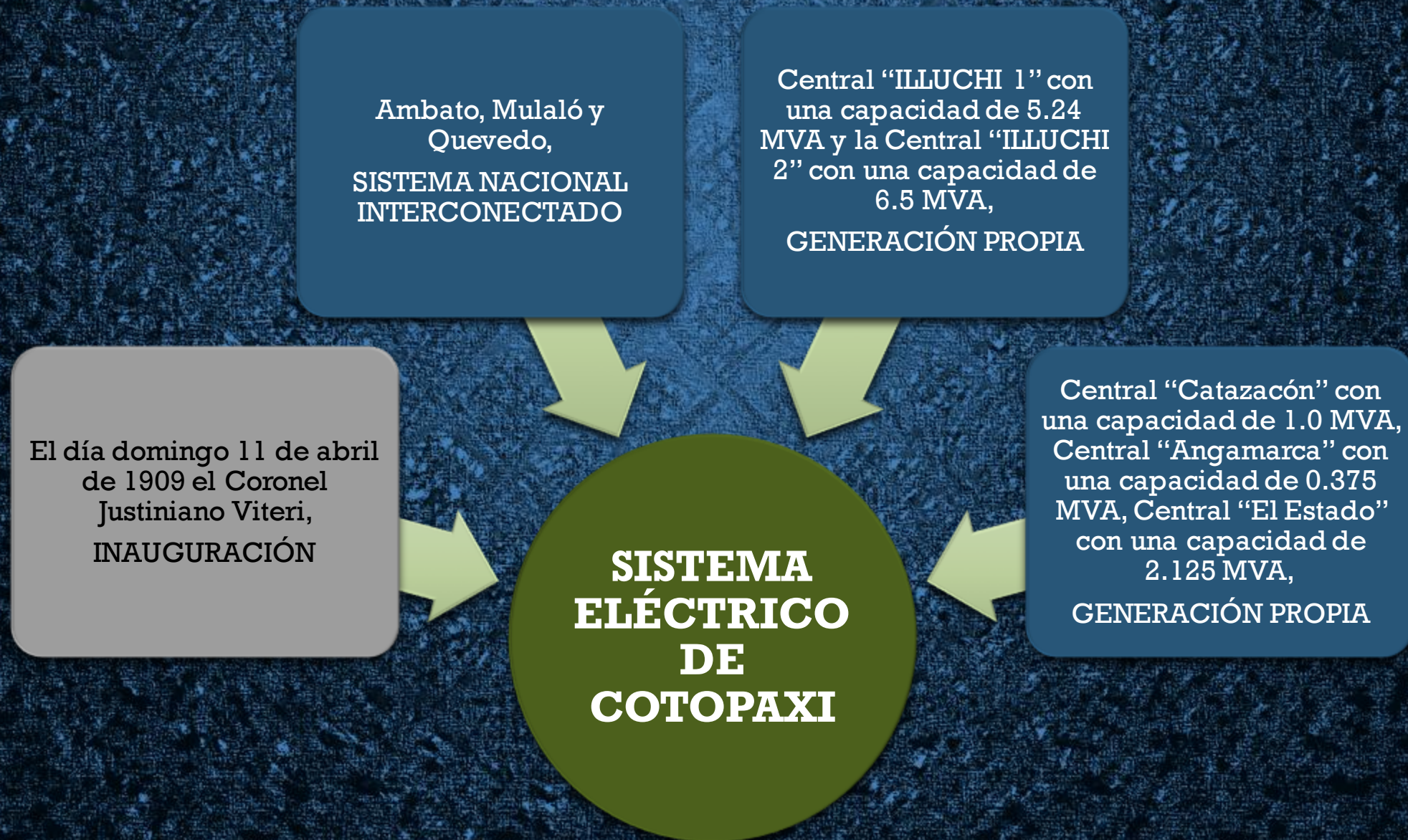
ANTECEDENTES



El sistema de protecciones en una subestación está destinado a preservar la integridad de los equipos de mayor valor tanto económico como por su imprescindible uso.

En la red se debe considerar que durante la operación o mantenimiento de los equipos se debe retirar el servicio de energía eléctrica y también se debe actuar ante una falla en el menor tiempo posible .

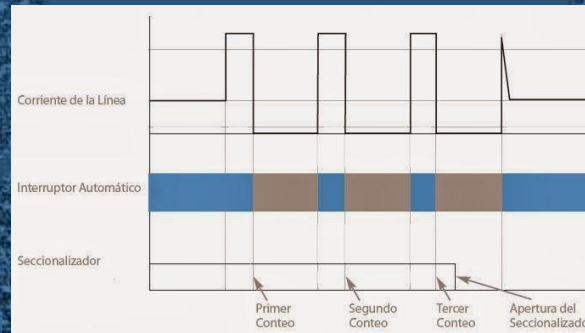
CAPÍTULO I



CAPÍTULO I

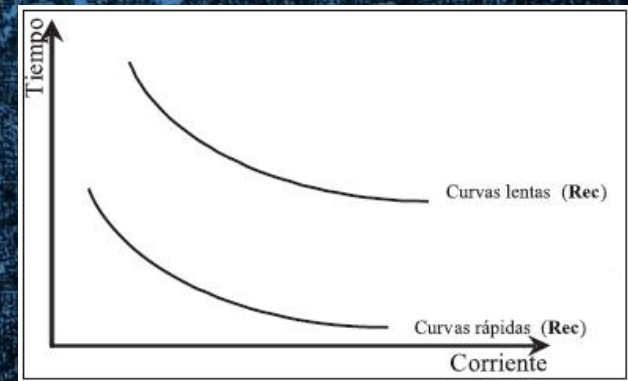
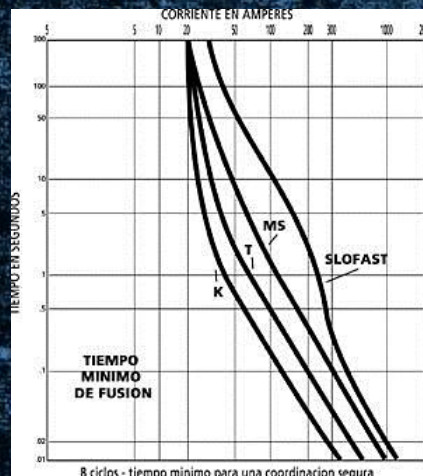
Seccionadores

Seccionadores y Seccionadores Fusibles



Reconectadores

Equipos de Protección y Seccionamiento



CAPÍTULO II



CAPÍTULO II

Ec 2.2

$$ENS = \sum L_{ai} D_i$$

**Indicador
referido a la
Demanda
Interrumpida.**



**Determinación
de Estados.**

**Análisis de
Confiabilidad
para el
Alimentador
en Estudio.**

- *Tiempo de Interrupción [Ti]*
- *Tiempo para el conocimiento de la Falla (Tc)*
- *Tiempo de Preparación (Tp)*
- *Tiempo de Localización (Tl)*
- *Tiempo de maniobra para la Transferencia (Tt)*
- *Tiempo de Maniobra para establecer la Configuración Normal de Operación (Tv)*

CAPÍTULO III

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

Situación actual

- Alimentador Urbano – marginal.
- Anexo 2.1
- Tabla 3.2-3.4

Levantamiento de Datos

- 13.8 KV Trifásicos y 7.96 KV Monofásicos
- Carga instalada: 2,09 MVA.
- Anexo 3.1

Análisis de Casos de estudio

- Flujos de Potencia
- Corrientes de Cortocircuito ($3\phi-1\phi$).
- Corrientes de Cortocircuito máx. y mín.

CAPÍTULO IV

Localización Óptima de los Equipos

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

REDISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIONES

Coordinación de Protecciones

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

CAPÍTULO IV

LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE LOS EQUIPOS

SECCIONADORES FUSIBLE

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

RECONECTADORES

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

SECCIONADORES FUSIBLE (TIPO BARRA)

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

SECCIONALIZADORES

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

Nota: Los fusibles para centro de transformación se encuentran en el Anexo 4.4

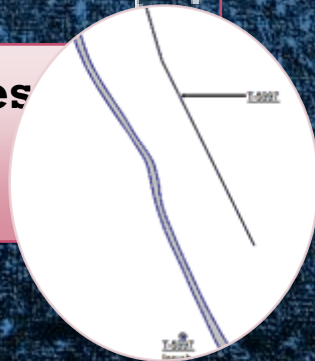
CAPÍTULO IV

DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE FUSIBLES DENTRO DEL ESTUDIO PROPUESTO PARA LOS CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

Anexo 4.4

$$I_{nominal} = \frac{\text{Potencia Nominal [KVA]}}{\text{Voltaje Nominal LN [KV]}}$$

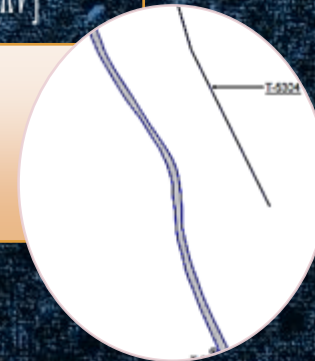
Transformadores aéreos monofásicos



$$I_{nominal} = \frac{\text{Potencia Nominal [KVA]}}{\sqrt{3} \times \text{Voltaje Nominal LN [KV]}}$$

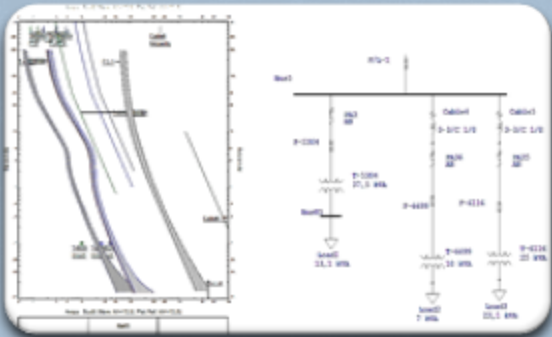
$$I_{bv} = \frac{\text{Potencia Nominal [KVA]}}{\sqrt{3} \times \text{Voltaje Nominal LN bv [KV]}}$$

Transformadores aéreos trifásicos

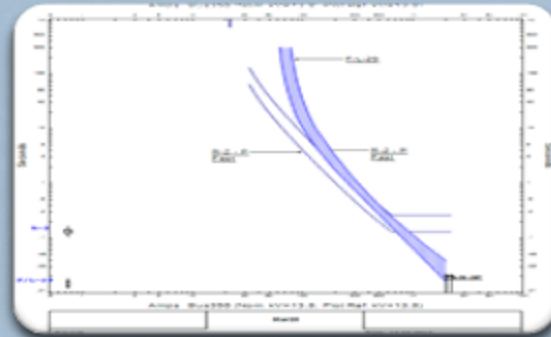


CAPÍTULO IV

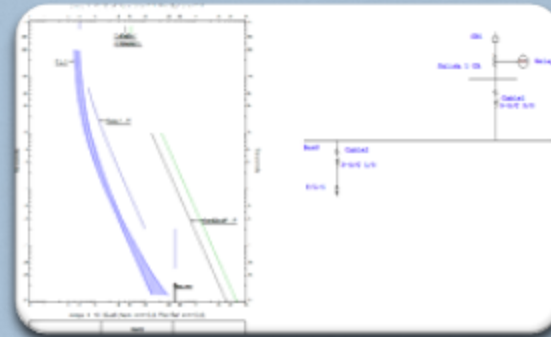
COORDINACIÓN DE PROTECCIONES



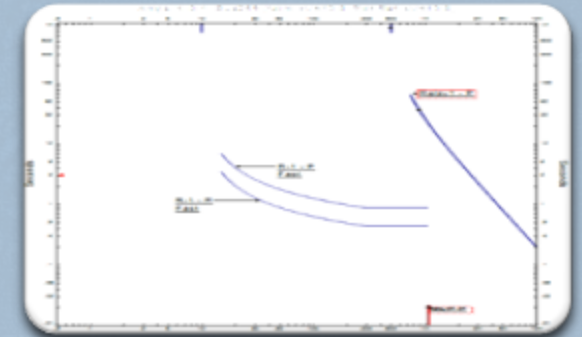
Coordinación
Fusible -
Fusible



Coordinación
Reconectador
- Fusible



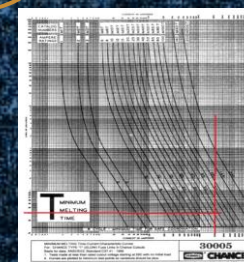
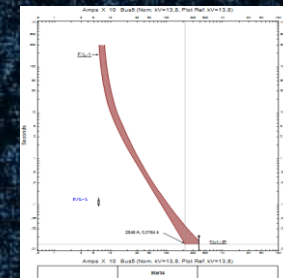
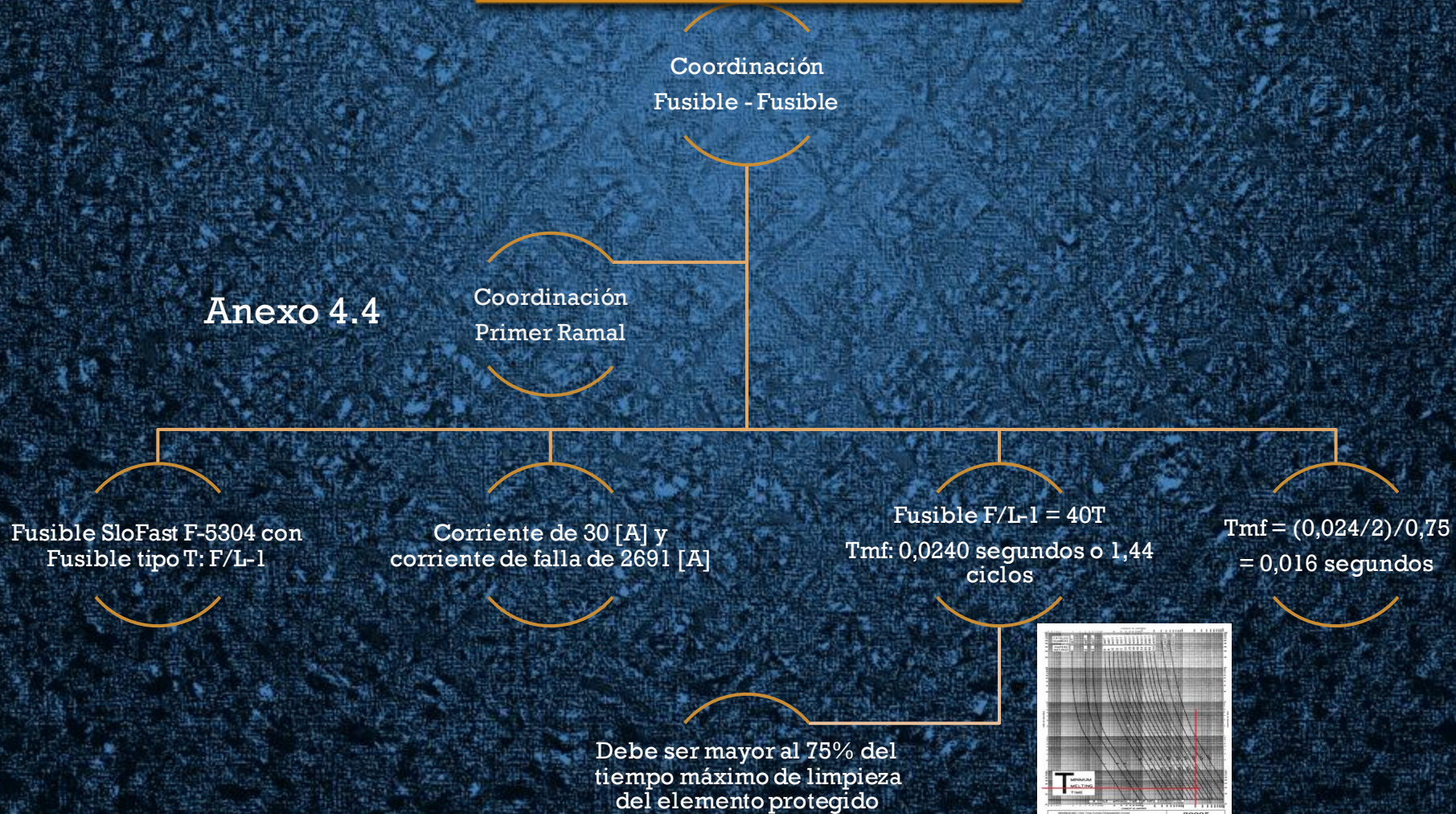
Coordinación
Relé – Fusible



Coordinación
Relé –
Reconectador

CAPÍTULO IV

COORDINACIÓN DE PROTECCIONES



CAPÍTULO IV

COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

Coordinación Reconectador - Fusible

Cuadro de Coordinación Fusible - Reconectador (Ramal 24 - Pusuchisí)						
Elemento Principal	I plena carga [A]	Icc [KA]	Elemento protegido	Tiempo mínimo de fusión (Tmf)	Elemento Protector	Conductor ACSR
F/L-24 = 40T	3,5	1,65	Fusibles SloFast + F/L-23 + F/L-22	3,5	R-1	1/0 - 3c
F/L-25 = 20T	1,1	1,62	Fusibles SloFast	0,0265		1/0 - 3c
Cuadro de Coordinación Fusible - Reconectador (Ramal 29 – Sector Putzalahua Alto)						
Elemento Principal	I plena carga [A]	Icc [KA]	Elemento protegido	Tiempo mínimo de fusión (Tmf)	Elemento Protector	Conductor ACSR
F/L-29 = 65T	3,2	2,02	Fusibles SloFast + F/L-28	0,34	R-2	1/0 - 3c

CAPÍTULO IV

COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

Coordinación
Reconectador - Fusible

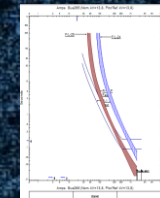
Ramal Pusuchisí

$IR = 1,3 \times I$ carga instalada
 $IR = 6,4$ [A]

Reconectador estará calibrado para cuatro intentos de apertura esto significa que actuará con dos intentos rápidos y dos intentos lentos

Tiempo mínimo de fusión del fusible protegido aguas abajo para esta curva el tiempo será 0,016 segundos o 1 ciclo teniendo que ser menor al 75%

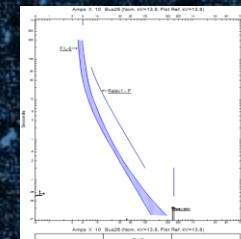
Para las siguientes curvas del reconectador se deberá multiplicar por un factor de re-cierre ya que si este tiempo de re-cierre es mayor el fusible tendrá más tiempo para enfriarse y volver a sus condiciones normales por lo que el factor será menor, y si el tiempo re-cierre es menor sucederá lo contrario



CAPÍTULO IV

COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

Coordinación Fusible - Relé



PROTECCIÓN	RELÉ	RTC	TAP	DIAL	TIEMPO	TIPO CURVA	CONDUCTOR ASCR
Fase	ABB SPAJ-140C	60	1,1	1,1	0,05	Extremadament	3/0 - 3c
Neutro	ABB SPAJ-140C	60	0,3	1,7	0,05	e inversa	2 - 1c

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

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

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

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

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

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

Una vez escogido el Tap de fases se procederá a seleccionar el dial o la palanca de tiempo del relé, para el relé "51" del alimentador se calibró con una palanca de tiempo de 0,050 y el dial (factor de escala para el tipo de curva extremadamente inversa) En relés modernos trabaja a pasos muy cercanos entre sí. Por ejemplo, 0.1 a 1 en pasos de 0.05 que equivale a 18 curvas

Esto permite considerar el ajuste de dial como una función continua, por lo tanto se tomará el valor de 0,10 +1 (valido siempre para el primer relé en caso de existir más se sumarán los tiempos individuales para el dial siguiente).

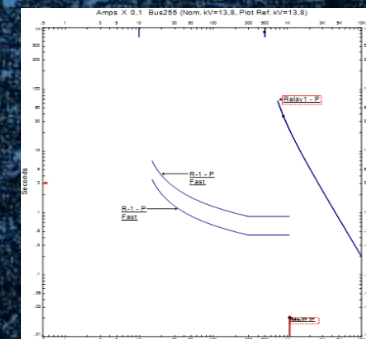
CAPÍTULO IV

COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

Coordinación Reconectador - Relé

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

La corriente de carga de 65,4 Amperios, el tiempo de despeje del relé con respecto a la curva lenta del reclocer será 6,49 segundos o 389 ciclos, dando un intervalo de tiempo aceptable para su coordinación, es decir el reconectador actuará antes que el relé



CAPÍTULO IV

CÁLCULO DE ÍNDICES DE CONFIABILIDAD EN EL ALIMENTADOR 01 DE LA SUBESTACIÓN “EL CALVARIO”

Índices Actuales

Índices Sistema Propuesto

INDICES DE CALIDAD PARA EL SISTEMA PROPUESTO

EN EL ALIMENTADOR

MESES	PROGRAMADAS		NO PROGRAMADAS	
	FMIK	TTIK	FMIK	TTIK
ENERO	0,096	0,067	0,86	2,78
FEBRERO	0,076	1,324	0,205	1,12
MARZO	0,038	0,45	0,021	0,74
ABRIL			0,097	0,2
MAYO	0,003	0,0003	0,043	0,18
JUNIO	1,003	8,34	-	-
JULIO			0,02	0,72
AGOSTO			-	-
SEPTIEMBRE			0,09	0,018
OCTUBRE			0,03	0,541
NOVIEMBRE	1,59	6,578	1,87	1,23
DICIEMBRE			0,029	0,3

INDICES DE CALIDAD PARA EL SISTEMA PROPUESTO

EN EL ALIMENTADOR

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

CAPÍTULO IV

Inversiones y Costos

Presupuesto

Costo por
ENS

Para el presupuesto

Valor de
equipos

Personal

Para la Energía No Suministrada

$$ENS = \sum L_{ai} D_i$$

Ahorro

CAPÍTULO IV

INVERSIONES Y COSTOS

Presupuesto

Presupuesto para Tira fusibles Tipo SloFast dual

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

Presupuesto para Seccionadores Fusible

No	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
1	Tirafusible 10T	5	1,02	5,1
2	Tirafusible 15T	12	1,02	12,24
3	Tirafusible 20T	3	1,33	3,99
4	Tirafusible 25T	6	1,33	7,98
5	Tirafusible 30T	13	1,33	17,29
6	Tirafusible 40T	4	1,65	6,6
7	Tirafusible 50T	3	1,65	4,95
8	Tirafusible 65T	1	2,85	2,85
9	Tirafusible 80T	1	2,85	2,85
10	Tirafusible 100T	16	12,5	200
11	Tirafusible 140T	6	14,5	87
12	Portafusible Seccionador 200A. 15KV	4	125	500
13	Personal de Mantenimiento			540
14	Otros (Gasolina, equipos)			360
TOTAL				850,85

CAPÍTULO IV

INVERSIONES Y COSTOS

Presupuesto

Presupuesto para Seccionalizadores y Reconectores				
No	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
1	Seccionalizador ABB Unipolar 15-38 [KV]	9	1500	13500
2	Reclocer ABB OVR-3 PDC electrónico	2	5000	10000
3	Personal de Mantenimiento			1110
4	Otros (Gasolina, equipos)			320
			TOTAL	24930

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

CAPÍTULO IV

INVERSIONES Y COSTOS

ENS y Ahorro

Cálculo de la energía no suministrada Sistema Actual

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

Costos por energía no suministrada

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

Cálculo de la energía no suministrada Sistema Propuesto

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

Costos por energía no consumida

Alimentador	KW/H No Suministrado	ENS(KWH/Año)	Costo ENS
Primario Oriental	\$0,09	41517,79	\$ 3.736,6
Instalación de equipos	\$1,50	14275,45	\$20.413,18
TOTAL		55793,24	\$24.149,70

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

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- El presente trabajo cumple con el objetivo propuesto al adecuar el sistema de protecciones del Alimentador 01 de la Subestación “El Calvario” ELEPCO S.A. y con ello mejorar sustancialmente la confiabilidad del servicio eléctrico como exige la CONELEC en su Resolución 004, 01 mediante la utilización de un paquete computacional existente en las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL, ETAP 12.6, evitando así también el incremento de fallas que puedan comprometer la integridad los equipos instalados en dicho alimentador.
- Debido al tipo de alimentador al cual se le realizó el estudio (urbano marginal) y la dificultad que representa el movilizar personal hasta el sitio de la falla, los equipos colocados sin un estudio previo y/o equipos instalados hace varios años han quedado obsoletos generando así perdidas tanto para el usuario como para la empresa en términos de energía no suministrada.
- Los dispositivos de protección actualmente instalados son insuficientes e ineficaces frente a fallas ya que no se encuentran ubicados en sitios estratégicos frente a la longitud y capacidad instalada en el alimentador.
- El software ETAP con licencia otorgada por Silvatech a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL genera demasiados inconvenientes para realizar trabajos de gran alcance debido a su limitada capacidad, problemática que no ha sido un impedimento pero si una gran dificultad en la realización de este proyecto.
- Los datos recolectados durante un año por el personal de la empresa eléctrica no permite un análisis a profundidad de los índices de confiabilidad al no contar con datos más precisos sobre las interrupciones que han ocurrido, presentando además grandes deficiencias en torno a la distribución ya que en los ramales más lejanos se registran caídas de tensión que sobrepasan el límite permitido.
- Se ha utilizado un criterio de selectividad con respecto a los fusibles que protegen los centros de transformación, de manera que permitan gracias a sus características constructivas proteger los equipos en toda situación (corrientes de magnetización, corrientes de desbalance y corrientes de carga fría) sin descuidar la capacidad nominal dentro de la cual operan y la corriente de falla a la cual actúan.

CAPÍTULO V

RECOMENDACIONES

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



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

- MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN