

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES DE LA  
SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN EN LA PENÍNSULA DE  
SANTA ELENA”

**INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN  
POTENCIA**

Presentado por:

Michelle Maclovia Bravo Briones  
Milton Geovanny Cuenca Cabrera

GUAYAQUIL – ECUADOR

2014

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por ser quien nos acompaña a lo largo de toda nuestra vida y en este arduo camino.

A nuestros padres por brindarnos su apoyo constante, confianza y ejemplo en todo momento.

Al Ing. Juan Saavedra profesor de la materia de graduación por su guía, y orientación durante el desarrollo de este trabajo.

A nuestros amigos y compañeros, que nos brindaron su apoyo y ayuda durante este proceso.

## DEDICATORIA

Agradezco a Dios, por su compañía y ayuda a lo largo de este duro camino.

A mis padres, Sr. Marlon Bravo y Sra. Olga Briones, por su apoyo incondicional y consejos que me ayudaron a culminar con éxitos esta meta.

A mis amigos, ya que con su ayuda hicieron que la carrera universitaria se convirtiera en una gran experiencia y a Josué Calderón por su apoyo en todo momento.

A mis profesores por compartir sus conocimientos y ser una importante guía en mi formación académica.

*Michelle Maclovia Bravo Briones*

A Dios por darme la oportunidad de vivir, y haberme puesto en un lugar donde me rodean personas maravillosas.

A mis queridos padres, Sr. Carlos Cuenca y Sra. Milta Cabrera por su apoyo incondicional, por haber confiado siempre en mí y por los consejos de superación que me brindaron durante toda esta etapa de mi vida.

A mis maestros, que gracias a sus lecciones y experiencias me ayudaron a formarme como una persona de bien, no solo en conocimiento sino también con muchos valores éticos y morales. Además, ellos me mostraron lo maravilloso que es la carrera que escogí.

*Milton Geovanny Cuenca Cabrera*

## **TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

Ing. Juan Saavedra  
PROFESOR DEL SEMINARIO DE GRADUACIÓN

---

Ing. Gustavo Bermúdez  
PROFESOR DELEGADO DE LA UNIDAD ACADÉMICA

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesina, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Michelle Maclovia Bravo Briones

---

Milton Geovanny Cuenca Cabrera

## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como finalidad el estudio de las protecciones eléctricas de la subestación de distribución Playas de CNEL Santa Elena - división Playas, todo esto se lo realiza con la ayuda de sistemas computacionales, los cuales nos facilitan los diferentes estudios, además nos presentan un gran ahorro de tiempo aumentando la precisión de los resultados.

Se realizaron los estudios de Flujo de carga y de cortocircuito, usando las respectivas normas y las hojas técnicas de los equipos de protección que se encuentran en la Subestación, para así al final obtener la coordinación de las protecciones eléctricas.

En el Capítulo 1 se muestran y describen las características generales de los diferentes equipos que conforman la subestación Playas. La información es proporcionada por CNEL Santa Elena - división Playas, la cual nos ayuda para el análisis y desarrollo de los capítulos del presente trabajo.

En el Capítulo 2 se presentan los estudios de Flujo de Potencia para los casos bases de máxima carga y mínima carga, cuyos resultados nos sirven para conocer las condiciones actuales de operación de la subestación, tales como voltajes de barras,

potencia demandada, carga en el transformador; todos estos resultados fueron determinados con la ayuda del software Power World Simulator Versión 17, Licencia Educativa.

En el Capítulo 3 se presenta los estudios de cortocircuito para los casos bases de máxima y mínima carga, sometiendo al sistema a condiciones de falla; obteniendo así los valores de corrientes de falla máxima y mínima y los efectos causados en cada componente de interés en el sistema.

En el Capítulo 4 se describe la protección del transformador de potencia de la Subestación, las funciones de los relés que dispone, los criterios necesarios para sus respectivos ajustes y la calibración del relé de sobre corriente.

El Capítulo 5 se considera como la parte más importante de este trabajo ya que aquí se presentan los ajustes de la coordinación final de los equipos de protección eléctrica por cada alimentadora, el cual utiliza todos los estudios realizados anteriormente, los criterios y normas eléctricas. Es aquí donde se van a sacar las conclusiones respectivas para saber si se debe realizar correcciones o recomendaciones, mejorando así la coordinación de las protecciones de la Subestación Playas.



# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

DECLARACIÓN EXPRESA

RESUMEN

ÍNDICE GENERAL

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

INTRODUCCIÓN

**CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES**

1.1	GENERALIDADES .....	1
1.2	DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DE LA SUBESTACIÓN .....	2
1.3	INFRAESTRUCTURA CIVIL Y SERVICIOS DE LA SUBESTACIÓN.....	3
1.3.1	Instalaciones.....	3
1.3.2	Servicios Básicos .....	4
1.4	INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA Y EQUIPOS.....	4
1.4.1	Red de Subtransmisión .....	4

1.4.2	Patio de 69 KV .....	5
1.4.2.1	Seccionador de Aire Vertical Principal .....	6
1.4.2.2	Interruptor principal – Gas SF6.....	6
1.4.2.3	Seccionador de Aire con cuchillas de tierra.....	7
1.4.2.4	Transformador de potencia .....	9
1.4.2.5	Transformadores de corriente.....	11
1.4.2.6	Transformadores de potencial .....	12
1.4.2.7	Pararrayos sobre el Transformador.....	13
1.4.2.8	Interruptor de Gas SF6 – Paseo Shopping Playas .....	14
1.4.3	Cuarto de control.....	16
1.4.3.1	Interruptor de Vacío .....	16
1.4.3.2	Banco de baterías y cargador .....	17
1.4.3.3	Tablero .....	19
1.4.3.4	Medidores .....	19
1.4.3.5	Dispositivos de Control y protección .....	21
1.4.3.5.1	Protección Diferencial.....	21
1.4.3.5.2	Protección de Sobrecorriente y Falla a tierra .....	22
1.4.3.5.3	Relé de Protección de alimentador SEL .....	23

1.4.3.6	Tablero de Servicios Auxiliares.....	26
1.4.3.6.1	Relé de Baja Frecuencia .....	26
1.4.3.6.2	Panel de alarmas .....	27
1.4.3.6.3	Otros dispositivos de control y protección.....	28

## **CAPÍTULO 2: ESTUDIOS DE FLUJO DE CARGA**

2.1	INTRODUCCIÓN .....	29
2.2	CRITERIOS ADOPTADOS PARA EL ESTUDIO.....	30
2.2.1	Flexibilidad Operacional .....	30
2.2.2	Niveles de Confiabilidad.....	30
2.2.3	Niveles de sobrecarga.....	31
2.2.4	Regulación de Voltaje.....	31
2.3	ANÁLISIS DE CASOS.....	32
2.3.1	Estudios de flujo de carga – caso base carga máxima .....	32
2.3.2	Estudios de flujo de carga – caso base carga mínima .....	32
2.4	DATOS DEL SISTEMA .....	32
2.4.1	Datos de Transformador de Fuerza .....	33
2.4.2	Datos de líneas y conductores.....	34
2.4.3	Datos de barras de carga.....	35

2.4.3.1	Carga Máxima .....	35
2.5	RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE FLUJO DE CARGA.....	38
2.5.1	Casos base.....	39
2.5.1.1	Voltajes en barras .....	42
2.5.1.2	Consumo de Potencia Activa y Reactiva en la barra de 13.8KV .....	42
2.5.1.3	Factor de Potencia .....	43
2.5.1.4	Carga del Transformador .....	43
2.5.1.5	Potencia Activa y Reactiva recibida del Sistema .....	44
2.5.1.6	TAP del Transformador de Potencia .....	44
2.6	CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA .....	45
<b>CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO</b>		
3.1	INTRODUCCIÓN.....	47
3.2	ALCANCE DE LOS ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO .....	48
3.3	DATOS DEL SISTEMA.....	49
3.3.1	Impedancias Equivalentes en la barra de la subestación .....	49
3.3.1.1	MVA de corto circuito.....	50
3.3.1.2	Impedancias equivalentes.....	50
3.3.1.3	Corrientes de cortocircuito.....	51

3.3.2	Datos de Conductores.....	52
3.3.3	Datos de Transformadores de Fuerza.....	52
3.3.4	Datos de Motores.....	52
3.4	RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO.....	53
3.4.1	Casos base.....	53
3.4.1.1	Corriente de Falla en cada barra – Carga Máxima.....	53
3.4.1.2	Corriente de Falla Trifásica.....	53
3.4.1.3	Corriente de Falla de Línea a Tierra.....	54
3.4.1.4	Corriente de Falla de dos Líneas a Tierra.....	54
3.4.1.5	Corriente de Falla de Línea a Línea.....	55
3.4.2.1	Corriente de Falla en cada barra – Carga Mínima.....	56
3.4.2.2	Corriente de Falla Trifásica.....	56
3.4.2.3	Corriente de Falla de Línea a Tierra.....	57
3.4.2.4	Corriente de Falla de dos Líneas a Tierra.....	57
3.4.2.5	Corriente de Falla de Línea a Línea.....	58
3.4.2.6	Resumen de Corrientes de Falla en cada barra.....	59
3.4.3.1	Voltajes de Falla en cada Barra – Carga Máxima.....	60
3.4.3.2	Voltaje de Falla Trifásica.....	60

3.4.3.3	Voltaje de Falla de Línea a Tierra.....	61
3.4.3.4	Voltaje de Falla de dos Líneas a Tierra.....	61
3.4.3.5	Voltaje de Falla de Línea a línea .....	62
3.4.4.1	Voltajes de Falla en cada Barra – Carga Mínima.....	62
3.4.4.2	Voltaje de Falla Trifásica .....	63
3.4.4.3	Voltaje de Falla de Línea a Tierra.....	63
3.4.4.4	Voltaje de Falla de dos Líneas a Tierra.....	64
3.4.4.5	Voltaje de Falla de Línea a línea .....	64
3.5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65

## **CAPÍTULO 4: PROTECCIÓN DE LA SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN**

4.1	INTRODUCCIÓN.....	68
4.2	ESQUEMAS DE PROTECCIONES .....	70
4.2.1	Esquema de Protección de la Subestación de Distribución.....	70
4.3	AJUSTE Y COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES .....	71
4.3.1	Ajuste Transformador de Potencia .....	71
4.3.1.1	Protección contra sobrecorriente y falla a tierra, ABB SPAJ 140 C .....	71
4.3.1.2	Protección Diferencial Estabilizado SPAD 346 C3 (87).....	77
4.3.1.3	Características de los CT's .....	81

4.3.1.3.1	Máximas corrientes de carga .....	82
4.3.1.3.2	Corrientes máximas de carga en secundarios de CT's.....	84
4.3.1.3.3	Porcentaje de error intrínseco Mismatch .....	84
4.3.1.3.4	Porcentaje por error de los CT's.....	86
4.3.1.3.5	Porcentaje de regulación de voltaje TAP .....	86
4.3.1.3.6	Porcentaje de Restricción de Armónicas por la corriente de magnetización (INRUSH) .....	86
4.3.1.3.7	Porcentajes de Restricción.....	87
4.3.2	Relé de Frecuencia, SPAF 340 C3 .....	87
4.3.3	Relé de Protección de alimentador ABB SPAA 341 C2.....	90
4.3.4	Relé de Protección de alimentador SEL 751A .....	93
4.4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	95
 <b>CAPÍTULO 5: COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES</b>		
5.1	INTRODUCCIÓN .....	97
5.2	CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN .....	98
5.2.1	Sensibilidad .....	98
5.2.2	Selectividad .....	98
5.2.3	Rapidez.....	99

5.2.4	Fiabilidad.....	100
5.2.5	Economía y simplicidad.....	100
5.3	ESQUEMA DE PROTECCIONES.....	100
5.4	CRITERIO DE ÁREAS DE PROTECCION .....	102
5.5	ELEMENTOS DE PROTECCIN .....	104
5.5.1	Criterios para la selección de fusibles.....	104
5.5.2	Protección del transformador .....	107
5.5.2.1	Curva de Daño del transformador .....	107
5.5.3	Ajuste de la Protección diferencial .....	108
5.5.4	Ajustes del relé SPAJ 140 C3.....	110
5.5.4.1	Ajuste de la protección de sobrecorriente de tiempo inverso de fase (51P)...	110
5.5.4.2	Ajuste de la protección de sobrecorriente Instantáneo de fase (50P).....	111
5.5.4.3	Ajuste de la protección de sobrecorriente de tiempo inverso de tierra (51G). 112	
5.5.5	Protección de Sobre corriente en las Alimentadoras.....	113
5.5.5.1	Relé SPAA 341 2C.....	113
5.5.5.2	Relé SEL-751A.....	114
5.5.6	Protección de Falla a Tierra en las Alimentadoras .....	115
5.5.6.1	Relé SPAA 341 2C.....	115



5.5.6.2	Relé SEL-751A.....	116
5.6	RESULTADOS DE LA COORDINACIÓN DE LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN.....	116
5.6.1	Coordinación de la alimentadora Ciudadela Victoria.....	117
5.6.2	Coordinación de la alimentadora Central Playas.....	119
5.6.3	Coordinación de la alimentadora Engabao.....	121
5.6.4	Coordinación de la alimentadora Sector Centro.....	123
5.6.5	Coordinación de la alimentadora Interconexión.....	125
5.6.6	Coordinación de Relés de sobrecorrientes de falla a tierra.....	127
5.7	RESUMEN DE AJUSTES.....	129
5.8	AJUSTES DEL RELÉ DE FRECUENCIA, SPAF 340 C3.....	130
5.9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	131

## **CONCLUSIONES**

## **RECOMENDACIONES**

## **ANEXOS**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

<b>A</b>	Amperios, unidad de fundamental de corriente.
<b>AC</b>	Corriente alterna.
<b>AMP</b>	Nomenclatura en PowerWorld para Amperios.
<b>ANSI</b>	American National Standards Institute- Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.
<b>ASCR</b>	Aluminum Conductor Steel Reinforced-Conductor de aluminio con alma de acero.
<b>AT</b>	Alta Tensión.
<b>AWG</b>	American Wire Gauge- Calibre de Alambre Estadounidense (CAE),referencia de clasificación de diámetros.
<b>BIL</b>	Basic Insulation Level- Nivel Básico de Aislamiento.
<b>BT</b>	Baja Tensión.
<b>cc</b>	Corto Circuito.
<b>CT</b>	Current Transformer-Transformador de corriente.
<b>°C</b>	Grados centígrados.
<b>Cu</b>	Cobre.
<b>DC</b>	Corriente continua.
<b>Deg</b>	Grados. Nomenclatura en PowerWorld.
<b>CNEL EP</b>	Corporación Nacional de Electricidad Empresa Pública.
<b>FA</b>	Sistema de ventilación forzada de un transformador.
<b>GCB</b>	Gas Circuit Breaker- Interruptor con extensión de arco a gas.
<b>I</b>	Corriente.
<b>I<sub>a</sub></b>	Corriente continua en el fusible
<b>I<sub>a</sub></b>	Corriente en la fase a.

<b>I<sub>b</sub></b>	Corriente en la fase b.
<b>I<sub>c</sub></b>	Corriente en la fase c.
<b>I<sub>cc</sub></b>	Corriente de Corto Circuito
<b>I<sub>d</sub></b>	Corriente diferencial
<b>I<sub>H</sub></b>	Corriente en alta tensión
<b>I<sub>L</sub></b>	Corriente en baja tensión
<b>I<sub>H Falla</sub></b>	Corriente de falla en alta tensión
<b>I<sub>L Falla</sub></b>	Corriente de falla en baja tensión
<b>I<sub>H s</sub></b>	Corriente del secundario del CT en alta tensión
<b>I<sub>L s</sub></b>	Corriente del secundario del CT en baja tensión
<b>I<sub>H r</sub></b>	Corriente de restricción usada en el relé luego de la compensación interna de fase programada en el lado de alta tensión.
<b>I<sub>L r</sub></b>	Corriente de restricción usada en el relé luego de la compensación interna de fase programada en el lado de baja tensión.
<b>I<sub>n</sub></b>	Corriente nominal
<b>I<sub>n baja</sub></b>	Corriente nominal en el lado de baja
<b>I<sub>pn</sub></b>	Corriente de puesta en trabajo en el lado primario del CT
<b>I<sub>sn</sub></b>	Corriente de puesta en trabajo en el lado secundario del CT
<b>I<sub>pick-up</sub></b>	Corriente de puesta en trabajo.
<b>KA</b>	Kiloamperio.
<b>Kg</b>	Kilogramo.
<b>Km</b>	Kilometro.
<b>KV</b>	Kilovoltio.
<b>KV<sub>max</sub></b>	Kilovoltio máximo.
<b>KVA</b>	Kilovoltio - amperio.
<b>KVAR</b>	Kilovatios reactivos, unidad de potencia reactiva.
<b>KW</b>	Kilovatios, unidad de potencia activa.

<b>LG</b>	Línea a tierra.
<b>LL</b>	Línea a Línea.
<b>LLG</b>	Línea-Línea-Tierra.
<b>LLL</b>	Línea-Línea-Línea (trifásica).
<b>lim</b>	Límite.
<b>m</b>	metros, unidad de longitud.
<b>m<sup>2</sup></b>	metros cuadrados, unidad de área.
<b>M</b>	Porcentaje de error intrínseco de la selección del TAP para la corriente nominal.
<b>VA</b>	Megavoltios-amperios.
<b>MVAR</b>	Mega Vatios Reactivos, unidad de potencia reactiva.
<b>MW</b>	Mega Vatios, unidad de potencia activa.
<b>OA</b>	Sistema de enfriamiento por aceite y aire natural de un transformador.
<b>p.u.</b>	Por unidad.
<b>R</b>	Resistencia en ohmios.
<b>S/E</b>	Subestación Eléctrica.
<b>SF6</b>	Hexafluoruro de Azufre, gas empleado para extensión del arco.
<b>Std.</b>	Standard (Estándar o Norma).
<b>TAP</b>	Punto de conexión a lo largo de un devanado que permite un cierto número de vueltas para ser seleccionado.
<b>TD</b>	Time Delay (Tiempo de Retardo).
<b>VA</b>	Voltios – amperios.
<b>VDC</b>	Voltaje de corriente continua.
<b>Vnom</b>	Voltaje nominal.
<b>VOLT</b>	Nomenclatura en PowerWorld para Voltios.
<b>X</b>	Reactancia en ohmios.

<b>Z</b>	Impedancia.
<b>Ztrafo</b>	Impedancia del Transformador de Potencia.
<b><math>\Omega</math></b>	Ohmios. Unidad de resistencia, impedancia y reactancia.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Vista Satelital de la Ubicación de la subestación Playas .....	2
Figura 1.2 Vista total de la Subestación Playas .....	3
Figura 1.3 Diagrama unifilar de la Subestación Playas .....	5
Figura 1.4 Seccionador tipo 70 – GLA-20 marca MITSUBISHI .....	9
Figura 1.5 Transformador de potencia MITSUBISHI .....	11
Figura 1.6 Interruptor 120-SFM-32B.....	16
Figura 1.7 Cargador de baterías.....	18
Figura 1.8 Banco de baterías.....	19
Figura 1.9 Medidores (a) ION7650, (b) ABBA1D, (c) ION7330 .....	20
Figura 1.10 Relé SPAD 346 C3 ABB .....	22
Figura 1.11 Relé SPAJ 140C ABB .....	23
Figura 1.12 Relé de protección de alimentador SEL-751A .....	25
Figura 1.13 Relé SPAA 341 2C ABB.....	26
Figura 1.14 Relé SPAF 340 C3 ABB.....	27
Figura 1.15 Panel de alarmas .....	27
Figura 2.1 Demanda máxima del mes de Diciembre 2013 .....	36

Figura 2.2 Demanda Mínima del mes de Diciembre 2013 .....	37
Figura 2.3 Resumen de Datos para flujo de Potencia. ....	39
Figura 2.4 Flujo de Potencia para Carga Máxima.....	40
Figura 2.5 Flujo de Potencia para Carga Mínima.....	41
Figura 4.1 Esquema de Protección de la Subestación .....	70
Figura 4.2 Protección Diferencial a un Transformador .....	78
Figura 4.3 Característica de operación de la fase de corriente diferencial .....	79
Figura 5.1 Esquema de protecciones del Transformador de Potencia .....	101
Figura 5.2 Esquema de protecciones _ Redes de distribución Subestación Playas .....	102
Figura 5.3 Áreas de Protección.....	103
Figura 5.4 Curva característica del Fusible tipo 100K .....	107
Figura 5.5 Curva de daño del transformador .....	108
Figura 5.6 Curva diferencial de porcentaje .....	110
Figura 5.7 Curvas de equipos de protección de la alimentadora Cdla. Victoria.....	118
Figura 5.8 Curvas de equipos de protección de la alimentadora Central Playas.....	120
Figura 5.9 Curvas de equipos de protección de la alimentadora Engabao .....	122
Figura 5.10 Curvas de equipos de protección de la alimentadora Sector Centro .....	124
Figura 5.11 Curvas de equipos de protección de la alimentadora Interconexión.....	126

Figura 5.12 Curvas de Relés de sobrecorriente para falla a tierra (51G) ..... 127



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Datos del seccionador de aire vertical principal de 69 KV .....	6
Tabla 1.2 Características del Interruptor de gas SF6 principal de 69 KV.....	7
Tabla 1.3 Datos de Placa del seccionador de aire de 69KV.....	8
Tabla 1.4 Datos del mecanismo de operación motorizado del seccionador de aire .....	8
Tabla 1.5. Datos de placa del Transformador de potencia .....	10
Tabla 1.6 Características de los CT's de la subestación Playas .....	12
Tabla 1.7 Características de los Transformadores de Potencial. ....	13
Tabla 1.8 Pararrayos del lado de alta tensión .....	14
Tabla 1.9 Pararrayos del lado de baja tensión .....	14
Tabla 1.10 Datos de placa del Interruptor 120-SFM-32B .....	15
Tabla 1.11 Datos de placa de Interruptor de vacío MITSUBISHI .....	17
Tabla 1.12 Característica del banco de baterías .....	18
Tabla 1.13 Características de los medidores .....	20
Tabla 1.14 Dispositivos de control y protección .....	28
Tabla 2.1. Características del Transformador de Potencia.....	34
Tabla 2.2 Impedancia del conductor ACSR 4/0.....	35
Tabla 2.3 Demanda Máxima por Alimentadora .....	36

Tabla 2.4 Demanda Mínima por Alimentadora .....	38
Tabla 2.5 Voltajes en barras para Carga Máxima .....	42
Tabla.2.6 Voltajes en barras para carga mínima .....	42
Tabla 2.7 Consumo para Carga Máxima.....	42
Tabla 2.8 Consumo para Carga Mínima .....	43
Tabla 2.9 Factor de Potencia .....	43
Tabla 2.10 Potencia entre barras para Máxima Carga .....	43
Tabla 2.11 Potencia entre barras para Mínima Carga .....	44
Tabla 2.12 Potencia recibida para carga máxima .....	44
Tabla 2.13 Potencia recibida para mínima Carga .....	44
Tabla 2.14 Ajuste del Tap del Transformador .....	44
Tabla 3.1 MVA de corto circuito para máxima generación .....	50
Tabla 3.2 MVA de corto circuito para mínima generación .....	50
Tabla 3.3 Impedancias equivalentes de máxima generación para 69 KV.....	50
Tabla 3.4 Impedancias equivalentes de mínima generación para 69 KV .....	50
Tabla 3.5 Corrientes de cortocircuito de máxima generación para 69 KV .....	51
Tabla 3.6 Corrientes de cortocircuito de mínima generación para 69 KV .....	51
Tabla 3.7 Corrientes de cortocircuito de máxima generación para 13.8 KV .....	51
Tabla 3.8 Corrientes de cortocircuito de mínima generación para 13.8 KV .....	52

Tabla 3.9 Corrientes de cortocircuito para Falla Trifásica .....	54
Tabla 3.10 Corrientes de cortocircuito para Falla de Línea a Tierra .....	54
Tabla 3.11 Corrientes de cortocircuito para Falla de dos Líneas a Tierra.....	55
Tabla 3.12 Corrientes de cortocircuito por fase para Falla de dos Líneas a Tierra .....	55
Tabla 3.13 Corrientes de cortocircuito para Falla de dos Líneas a Tierra.....	56
Tabla 3.14 Corrientes de cortocircuito para Falla Trifásica.....	56
Tabla 3.15 Corrientes de cortocircuito para Falla de Línea a Tierra .....	57
Tabla 3.16 Corrientes de cortocircuito para Falla de dos Líneas a Tierra.....	57
Tabla 3.17 Corrientes de cortocircuito por fase para Falla de dos Líneas a Tierra.....	58
Tabla 3.18 Corrientes de cortocircuito para Falla de dos Líneas a Tierra.....	58
Tabla 3.19 Resumen de Corrientes de Falla .....	59
Tabla 3.20 Voltajes para una Falla Trifásica en la Barra de 69KV.....	60
Tabla 3.21 Voltajes para una Falla Trifásica en la Barra de 13.8KV.....	60
Tabla 3.22 Voltajes para una Falla de una Línea a Tierra en la Barra de.....	61
Tabla 3.23 Voltajes para una Falla de una Línea a Tierra en la Barra de.....	61
Tabla 3.24 Voltajes para una Falla de dos Líneas a Tierra en la Barra de .....	61
Tabla 3.25 Voltajes para una Falla de dos Líneas a Tierra en la Barra de 13.8KV .....	62
Tabla 3.26 Voltajes para una Falla de Línea a Línea en la Barra de .....	62
Tabla 3.27 Voltajes para una Falla de Línea a Línea en la Barra de 13.8KV .....	62

Tabla 3.28 Voltajes para una Falla Trifásica en la Barra de 69KV.....	63
Tabla 3.29 Voltajes para una Falla Trifásica en la Barra de 13.8KV.....	63
Tabla 3.30 Voltajes para una Falla de una Línea a Tierra en la Barra de.....	63
Tabla 3.31 Voltajes para una Falla de una Línea a Tierra en la Barra de.....	64
Tabla 3.32 Voltajes para una Falla de dos Líneas a Tierra en la Barra de 69KV.....	64
Tabla 3.33 Voltajes para una Falla de dos Líneas a Tierra en la Barra de 13.8KV.....	64
Tabla 3.34 Voltajes para una Falla de Línea a Línea en la Barra de.....	65
Tabla 3.35 Voltajes para una Falla de Línea a Línea en la Barra de.....	65
Tabla 4.1 Parámetros de protección de Relé ABB SPAJ 140 C.....	75
Tabla 4.2 Pendientes de curva de sobrecorriente de tiempo inverso.....	76
Tabla 4.3 Factor multiplicativo de compensación.....	85
Tabla 4.4 Porcentajes de Restricción.....	87
Tabla 4.5 Ajuste del relé de frecuencia SPAF 340 C3.....	89
Tabla 4.6 Rangos de ajuste del relé ABB SPAA 341 C2.....	93
Tabla 4.7 Ajuste del relé SEL 741A.....	95
Tabla 5.1 Máxima corriente continua en Tira Fusible Tipo K.....	105
Tabla 5.2 Corrientes utilizadas para determinar el Mismatch de la curva del relé diferencial.....	109
Tabla 5.3 Porcentajes de Restricción.....	109

Tabla 5.4 Ajuste del relé SPAJ 140 C3. ....	111
Tabla 5.5 Ajuste del 51G .....	113
Tabla 5.6 Ajuste del relé SPAA 341 2C.....	114
Tabla 5.7 Ajuste del relé SEL-751 <sup>a</sup> .....	114
Tabla 5.8 Ajuste del relé SPAA 341 2C.....	115
Tabla 5.9 Ajuste del relé SEL-751A .....	116
Tabla 5.10 Resumen de Ajuste de Equipos de Protección de Ciudadela Victoria .....	117
Tabla 5.11 Resumen de Ajuste de Equipos de Protección de Central Playas.....	119
Tabla 5.12 Resumen de Ajuste de Equipos de Protección de Engabao.....	121
Tabla 5.13 Resumen de Ajuste de Equipos de Protección de Sector Centro .....	123
Tabla 5.14 Resumen de Ajuste de Equipos de Protección de Interconexión.....	125
Tabla 5.15 Resumen de Ajuste de Equipos de Protección de falla a tierra .....	128
Tabla 5.16 Resumen de ajustes de la protección del Transformador.....	129
Tabla 5.17 Resumen de ajustes de la protección en las Líneas.....	129
Tabla 5.18 Esquema de alivio de carga por baja frecuencia del CENACE.....	130

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la energía eléctrica permite el desarrollo de la mayoría de las actividades presentes en una ciudad, por lo cual el uso de ésta se ha vuelto de vital importancia para el desarrollo económico y productivo de la misma. Cuando se presenta una interrupción en el servicio de energía eléctrica puede provocar molestias en los consumidores y pérdidas económicas considerables.

Para realizar la distribución de energía eléctrica se utiliza distintos equipos eléctricos y dispositivos de protección tales como: fusibles, interruptores, seccionadores y breakers, los cuales permiten que la distribución se la realice de manera segura y eficiente.

La adecuada coordinación de los dispositivos de protección eléctrica en la subestación es un requisito esencial para mantener la calidad y continuidad del servicio ante la presencia de una falla, esto se lo obtiene al realizar un despeje rápido de la misma con lo que se minimiza la zona afectada, daños en los equipos y previniendo respaldo. Es importante que los dispositivos de

protección actúen en forma jerárquica, es decir sino actúa la protección principal lo debe hacer la de respaldo.

Las características que se deben considerar durante el diseño y coordinación de las protecciones eléctricas son: confiabilidad, rapidez, economía, simplicidad y selectividad.

En el presente trabajo se realizó el estudio de coordinación de los dispositivos de protección eléctrica de la subestación "Playa" mediante el uso de herramientas computacionales. Cabe recalcar que el presente estudio no tiene como objetivo realizar los ajustes reales pues estos ya existen; sino que los resultados aquí obtenidos brindan la oportunidad de efectuar mejoras al sistema de protección establecido en la subestación.

# **CAPÍTULO 1**

## **DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES**

### **1.1 GENERALIDADES**

Con el fin de suministrar energía eléctrica a la ciudad General Villamil se implementó la subestación de distribución eléctrica Playas que reduce el nivel de voltaje de 69 KV a 13.8KV la cual está dirigido por la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL), Región Santa Elena – división Playas

La alimentación viene dada por la subestación El Morro por medio de la línea de 69 KV, la cual llega hasta la subestación Playas quien da paso para suministrar



energía a la subestación Cerecita y en un futuro cercano al Paseo Shopping Playas que ya se tiene implementado los equipos para la conexión al mismo nivel de voltaje antes mencionado.

## 1.2 DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DE LA SUBESTACIÓN

La subestación Playas se encuentra en la provincia del Guayas, en la ciudad General Villamil más conocida como Playas, la cual está delimitada al norte por la escuela Gral. José de Villamil, al sur con el colegio Dr. Rashid Torbay, al este con el Centro de Salud Área 25 y al oeste con la escuela Virgen del Quichinche.

El área en donde se encuentra instalada la subestación es de aproximadamente 10000 metros cuadrados, perteneciente a CNEL EP Santa Elena – división Playas y su ubicación geográfica se muestra en la figura 1.1.



**Figura 1.1** Vista Satelital de la Ubicación de la subestación Playas

## 1.3 INFRAESTRUCTURA CIVIL Y SERVICIOS DE LA SUBESTACIÓN

### 1.3.1 Instalaciones

La subestación dispone de cerramiento de ladrillo, el piso en donde se encuentran los equipos de potencia es de tierra y hay que hacer notar que hay mucho terreno sin uso para la misma.

A la entrada se encuentra una garita de guardianía, luego el patio de 69 KV y al final está los cuartos del operador y el cuarto de baterías.

La vía de acceso es la calle 24 de Septiembre, la cual es de tierra de un solo carril para cada sentido. En la figura 1.2 podemos observar una vista total de la subestación.



**Figura 1.2** Vista total de la Subestación Playas

### **1.3.2 Servicios Básicos**

La subestación cuenta con el servicio de agua potable, infraestructuras para la evacuación de las aguas servidas y lluvias.

Consta solamente de un extintor en caso de incendio, el cual se encuentran en el interior del cuarto del operador que da algo de protección y seguridad al momento de tomar acciones.

## **1.4 INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA Y EQUIPOS**

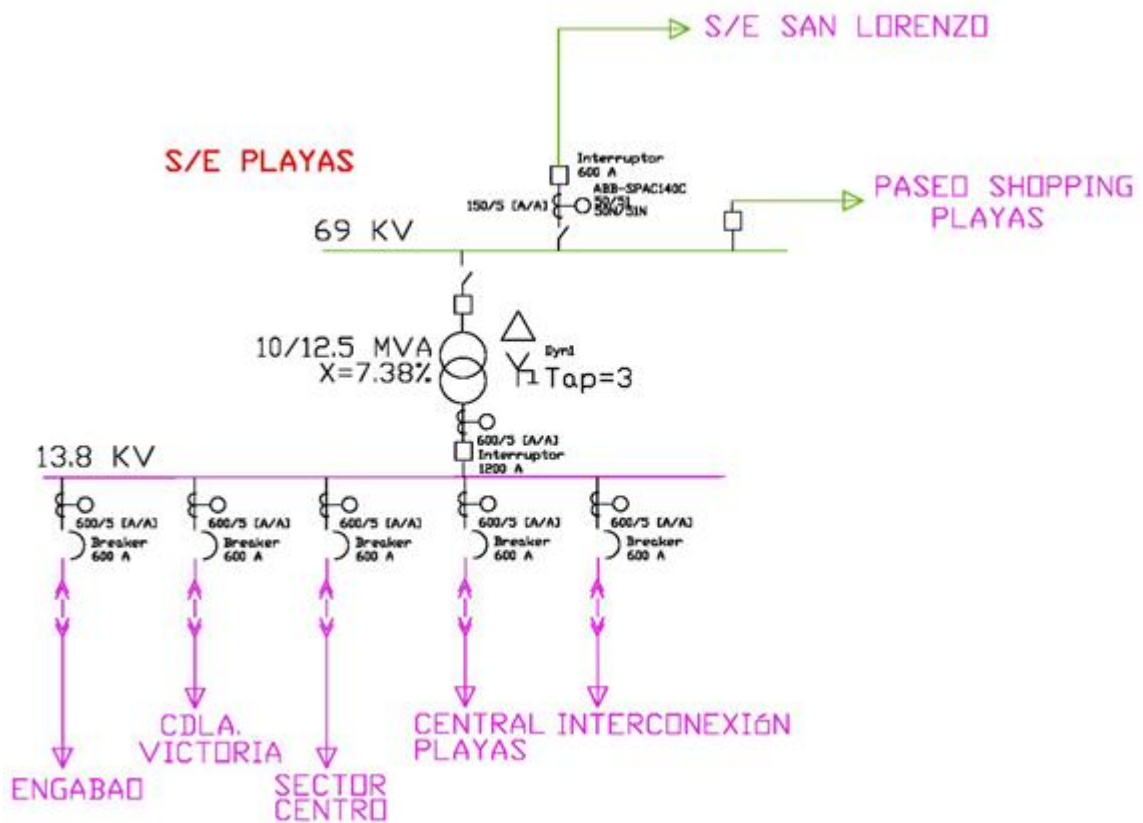
### **1.4.1 Red de Subtransmisión**

La alimentación de la subestación Playas está dada por medio de una línea de transmisión aérea de 69 KV, con una longitud aproximada de 5.37 kilómetros y un conductor 312.8 AAAC, que se origina desde la subestación El Morro.

La subestación cuenta con un transformador de potencia que se encarga de reducir el voltaje de 69 KV a 13.8 KV, con capacidad de 10 MVA con refrigeración OA y 12.5 MVA con FA, cuenta con una conexión  $\Delta / Y$ .

La subestación es de barra simple que se encuentra dentro de un metal clad con el fin de que se evite el contacto con el medio salino.

En la Figura 1.3 se muestra el diagrama unifilar de la subestación Playas.



**Figura 1.3** Diagrama unifilar de la Subestación Playas

#### 1.4.2 Patio de 69 KV

El patio de 69 KV se encuentra conformado por 4 torres de 10 m de altura, separadas 6 m entre ellas y acopladas con bandejas horizontales que a su vez sirven para soportar equipos como aisladores, pararrayos y luminarias.

La estructura se encuentra sobre bases de hormigón armado, ajustada con pernos de acero empotrados.

#### 1.4.2.1 Seccionador de Aire Vertical Principal

El seccionador principal de 69 KV que une la línea de subtransmisión con el interruptor es de marca ABB en donde la Tabla 1.1 se muestra las características.

Seccionador ABB				
Tipo	KV máx.	BIL [KV]	Icontinua [A]	Iinsta [A]
TTR8	242	900	600	2000

**Tabla 1.1** Datos del seccionador de aire vertical principal de 69 KV

#### 1.4.2.2 Interruptor principal – Gas SF6

La alimentación de la línea de 69 KV al transformador principal se une antes por un Interruptor de potencia de gas SF6 de marca MITSUBISHI, el cual permite abrir o cerrar el sistema cuando esté trabajando en estado normal o para poder despejar cuando exista algún tipo de falla, ayudando así a eliminar el arco eléctrico producido entre los contactos por medio del gas SF6.

Las características del Interruptor que se encuentra unido directamente de manera física con el transformador se presentan en la Tabla 1.2 que se muestra a continuación.

<b>INTERRUPTOR PRINCIPAL</b>	
<b>MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION - JAPAN</b>	
Tensión Nominal	72.5 [KV]
Corriente Nominal	600 [A]
Corriente de Corta Duración	20 [KA]

**Tabla 1.2** Características del Interruptor de gas SF6 principal de 69 KV

#### **1.4.2.3 Seccionador de Aire con cuchillas de tierra**

El seccionador se utiliza para poder asegurar dejando de manera abierta la conexión eléctrica para poner cualquier sistema fuera de servicio con el motivo de poder realizar mantenimiento o cualquier otra maniobra. Este debe soportar corrientes a plena carga y de cortocircuito mientras está cerrado, pero no se deben abrir mientras estén energizados ni tampoco para poder despejar ningún tipo de corriente de cortocircuito.

La subestación Playas cuenta con un seccionador MITSUBISHI de dos cuchillas, tipo 70 – GLA-20, la primera sirve para conectar o desconectar de la línea de subtransmisión, y la segunda para unir la subestación a tierra para cuando se necesite hacer algún tipo de mantenimiento o maniobra.

Por seguridad las dos cuchillas cuentan con un enclavamiento mecánico que no permite que se cierren al mismo tiempo para evitar que se produzca un cortocircuito. Los datos de placa del seccionador se muestran en la Tabla 1.3.

<b>SECCIONADOR</b>			
<b>MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION - JAPAN</b>			
Tipo	70-GLA-20	Tensión Nominal	72.5 [KV]
Corriente Nominal			600 [A]
Tensión Resistida de Impulso			350 [A]
Corriente de Corta Duración			20 [KA]

**Tabla 1.3** Datos de Placa del seccionador de aire de 69KV

El seccionador puede ser operado de manera manual o por medio de un mecanismo de operación motorizado controlado por el operador donde los datos de placa del mismo se presentan en la Tabla 1.4.

<b>Mecanismo de Operación Motorizado</b>	
<b>MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION - JAPAN</b>	
Tipo	MDC
Tensión Nominal de Operación	125 [V C.D]
Tensión Nominal de Control	125 [V C.D]

**Tabla 1.4** Datos del mecanismo de operación motorizado del seccionador de aire



**Figura 1.4** Seccionador tipo 70 – GLA-20 marca MITSUBISHI

#### 1.4.2.4 Transformador de potencia

El principal objetivo del transformador de potencia es reducir el nivel de tensión, para poder suplir las cargas al nivel requerido. Se utilizan para subtransmisión y transmisión de energía eléctrica en alta y media tensión.

La subestación Playas dispone de un transformador de potencia marca MITSUBISHI de 69000/13800 Voltios, 10/12.5 MVA, con una conexión delta-estrella sólidamente aterrizada. En la Tabla 1.5 se muestran sus respectivos datos de placa.



<b>TRANSFORMADOR DE POTENCIA MITSUBISHI</b>	
Tipo	L-SPEC HB61557 Acorazado
Modelo	CRB
Fecha	Junio 1998
Norma	IEC-76
Frecuencia	60HZ
Fases	3
Capacidad	10/12.5 MVA
Voltaje	69/13.8 KV
Nivel básico de impulso A.T.	350 KV
Nivel básico de impulso B.T.	110 KV
Impedancia	7.38%
Corriente A.T.	83.7/105 A
Corriente B.T.	418/523 A
Tipo de enfriamiento	ONAN / ONAF
Volumen de aceite	7200 L
Peso núcleo y bobinas	12800 Kg
Peso tanque y accesorios	6000 Kg
Peso aceite	6500 Kg

**Tabla 1.5.** Datos de placa del Transformador de potencia



*Figura 1.5 Transformador de potencia MITSUBISHI*

#### **1.4.2.5 Transformadores de corriente**

Los transformadores de corrientes son los encargados de reducir las intensidades de corriente de la línea a valores que sean accesibles, por lo general son de 1 o 5 amperios, y también nos permiten aislar los instrumentos de medición y protección conectados a los circuitos de alta tensión.

En la subestación Playas se emplea varios Ct's que ayudan a reducir la corriente para la operación de los equipos de medición y protección, hay uno en el lado de alta y baja del transformador, y para cada una de las alimentadoras.

En la Tabla 1.6 se muestra las características de los diferentes CTS que existe en toda la subestación.

<b>TRANSFORMADORES DE CORRIENTES</b>			
Salida	Nivel de voltaje [KV]	Relación [A/A]	Capacidad [VA]
Breaker principal	69	600/5	25
	13.8	1200/5	50
Interconexión	13.8	600 – 5	25
Engabao	13.8	600 – 5	25
Ciudadela Victoria	13.8	600 – 5	25
Central playas	13.8	600 – 5	25
Centro Playas	13.8	600 – 5	25

**Tabla 1.6** Características de los CT's de la subestación Playas

#### **1.4.2.6 Transformadores de potencial**

El transformador de potencial se encuentra diseñado para suministrar la alimentación adecuada a los instrumentos de medición y de protección con tensiones proporcionales a las de la red en el punto en el cual está conectado.

Su función es conectarse mediante un devanado primario a los circuitos de alta tensión, para lograr reducir el voltaje y aislar su devanado secundario con lo cual brinda la señal de forma segura a los distintos elementos de protección y medición que se requiere energizar.

En la subestación Playas se emplean transformadores con las características mostradas en la Tabla 1.7.

Fase	Marca	Relación (V)	
		Primario	Secundario
A	Mitsubishi	$13800 / \sqrt{3}$	$115 / \sqrt{3}$
B	Mitsubishi	$13800 / \sqrt{3}$	$115 / \sqrt{3}$
C	Mitsubishi	$13800 / \sqrt{3}$	$115 / \sqrt{3}$

**Tabla 1.7** Características de los Transformadores de Potencial.

#### 1.4.2.7 Pararrayos sobre el Transformador

Los descargadores de sobretensión son de gran importancia para la coordinación del aislamiento en sistemas eléctricos de potencia. En la subestación, el transformador principal es protegido contra rayos y sobretensiones de maniobra con pararrayos tanto en el lado de alta tensión como en el lado de baja tensión.

Fase	Marca	Tipo	Norma	I.Desc. Nom. (KA)	Vnom (KV)	V Oper. Cont.(KV)
A	Mitsubishi	MAL-PC(S)	IEC 99-4(1991)	10	60	45
B	Mitsubishi	MAL-PC(S)	IEC 99-4(1991)	10	60	45
C	Mitsubishi	MAL-PC(S)	IEC 99-4(1991)	10	60	45

**Tabla 1.8** Pararrayos del lado de alta tensión

Fase	Marca	Tipo	Norma	I.Desc. Nom. (KA)	Vnom (KV)	V Oper. Cont.(KV)
A	Mitsubishi	MAL-PCL	IEC 99-4(1991)	10	12	9
B	Mitsubishi	MAL-PCL	IEC 99-4(1991)	10	12	9
C	Mitsubishi	MAL-PCL	IEC 99-4(1991)	10	12	9

**Tabla 1.9** Pararrayos del lado de baja tensión

#### 1.4.2.8 Interruptor de Gas SF6 – Paseo Shopping Playas

La subestación Playas también va a alimentar de energía eléctrica al Paseo Shopping de la ciudad al nivel de voltaje de 69 KV, en lo cual se utilizará un interruptor a gas SF6 tipo 120-SFM-32B de Crompton Greaves Ltd. Hay que mencionar que por el momento no se encuentra energizada todavía esta línea, esto se lo va a hacer en un futuro muy cercano, pero los equipos ya se encuentran implementados dentro de la subestación para ser utilizados en cualquier momento.

En la Tabla 1.10 se muestra las características del interruptor a gas SF6.

<b>INTERRUPTOR A GAS SF6</b>			
<b>Crompton Greaves Ltd. - India</b>			
Tipo	120 – SFM – 32B	Norma	IEC 62271-100
Voltaje Nominal	145 [KV]	Frecuencia	60 [Hz]
Corriente nominal	3150 [A]	Poder de Cierre en cortocircuito	104 [KA]
Corriente de Interrupción en corto circuito	40 [KA]	Duración Nominal de la intensidad de cortocircuito	40 [KA] por 3 seg
		Factor de despeje del primer polo	1.5
Voltaje soportado Impulso de Rayo	650 [KVp]	Peso del gas	8 [Kg]
Presión nominal del Gas	7 Kg / cm <sup>2</sup>	Peso Total	1550 [Kg]
Voltaje nominal de bobinas		Cierre-125Vcc	Apertura -125VCC
Voltaje del motor	125 VCC	Voltaje circuitos auxiliares	1Φ, 120 VCA, 60Hz

**Tabla 1.10** Datos de placa del Interruptor 120-SFM-32B



**Figura 1.6** Interruptor 120-SFM-32B

### **1.4.3 Cuarto de control**

#### **1.4.3.1 Interruptor de Vacío**

Los interruptores son equipos eléctricos que sirven para abrir o cerrar un circuito eléctrico. Tienen la capacidad de poder abrir cuando el sistema esté trabajando en estado normal y aún más cuando exista algún tipo de falla. Trabaja en conjunto con los relés para poder abrir de manera muy rápida al momento de despejar alguna corriente de cortocircuito.

En la subestación existe un Interruptor de vacío para la entrada del transformador al cuarto de control y cinco más que le corresponde una a cada

alimentadora, todas estas de tipo 10-VPR-25C marca MITSUBISHI, en donde los datos de placa se muestran en la Tabla 1.11 .

<b>INTERRUPTOR DE VACÍO</b>			
<b>MITSUBISHI</b>			
Tipo	10-VPR-25C	Voltaje de control	125 VDC
Norma	IEC-56	Voltaje de cierre	125 VDC
Voltaje nominal	13.8 [KV]	Voltaje de Apertura	125 VDC
Tensión de Impulso	95 [KV]	Peso Total	120 Kg
Frecuencia nominal	50/60 [Hz]	Ciclo de operación	O-0.3seg-CO-min-CO,O-1min-CO-3min-CO,CO-15seg-CO
Corriente nominal	600 [A]	Corriente nominal de Interrupción	18 [KA] a 15 [KV]

**Tabla 1.11** Datos de placa de Interruptor de vacío MITSUBISHI

#### **1.4.3.2 Banco de baterías y cargador**

En el cuarto de control se encuentra un cargador de baterías marca MITSUBISHI modelo EMEPE-IA-035-220, con el cual se alimenta a dos bancos de baterías conformado con 30 unidades cada uno. En la Tabla 1.12 se especifica los parámetros de las características del banco de baterías.



BANCO DE BATERÍAS	
Tipo	Abiertas/Plomo – Acido
Modelo	EHGS-5
Capacidad	140A.H. * 8horas
Voltaje Nominal	126 VDC
Gravedad especifica	1215 A 20 °C
Voltaje min. por celda	1.75 Vfpc

**Tabla 1.12** Característica del banco de baterías



**Figura 1.7** Cargador de baterías



**Figura 1.8** Banco de baterías

#### **1.4.3.3 Tablero**

El tablero metálico contiene paneles de corriente alterna y corriente directa, donde se encuentran equipos de medición y protección.

#### **1.4.3.4 Medidores**

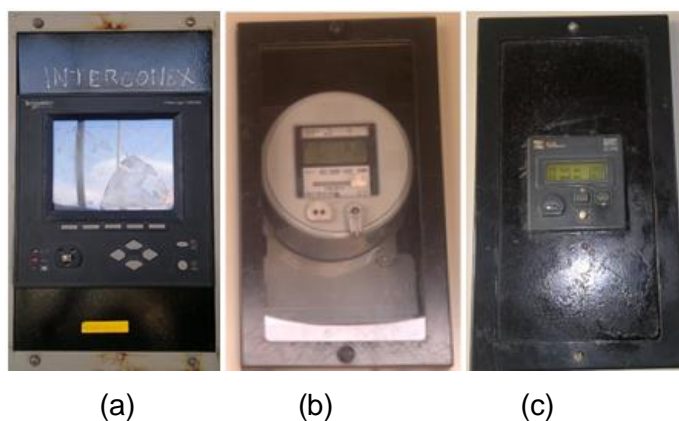
Las mediciones se las realizan en el lado secundario del transformador de potencia, una para la alimentación principal en el breaker de 13.8 KV y para cada una de las alimentadoras de la subestación.

Los parámetros que se monitorean son: Corriente en cada fase, Voltaje en cada fase, Potencia activa, potencia reactiva, Potencia aparente y Energía, pero también de manera automática se mide los valores máximos y mínimos de demanda, corrientes y voltajes, armónicos.

En la subestación Playas existe un medidor por cada una de las alimentadoras, así mismo existe uno que mide el valor total de las cinco alimentadoras en operación: Interconexión, Engabao, Ciudadela Victoria, Central Playas, Centro Playas, el mismo que se encuentra a la salida del breaker principal de 13.8 KV. Las características se muestran en la Tabla 1.13.

Medidor	Servicio	Marca	Tipo	Voltaje [V]	Clase	Elemento
ABB	Totalizador	ABB	A1D	120/208	0.2S-IEC	3
ION	Interconexión	Schneider	7650	120/208	0.2S-IEC	3
ABB	Engabao	ABB	A1D	120/208	0.2S-IEC	3
ION	Ciudadela Victoria	Schneider	7330	120/208	0.5S-IEC-ANSI	3
ION	Central Playas	Schneider	7330	120/208	0.5S-IEC-ANSI	3
ION	Centro Playas	Schneider	7330	120/208	0.5S-IEC-ANSI	3

**Tabla 1.13** Características de los medidores



**Figura 1.9** Medidores (a) ION7650, (b) ABBA1D, (c) ION7330

### **1.4.3.5 Dispositivos de Control y protección**

#### **1.4.3.5.1 Protección Diferencial**

El transformador principal de la subestación se encuentra protegido por un relé diferencial trifásico estabilizado SPAD 346 C3 DE MARCA ABB, la cual brinda protección diferencial contra fallas internas, protección de fallo de tierra para los devanados del lado de alta tensión y baja tensión del transformador, y protección contra sobrecorriente para cada fase.

La estabilización impide operaciones no deseadas en fallos fuera del área protegida y en corrientes de avalancha en el transformador. Existe un bloqueo basado en la relación del segundo armónico y el componente fundamental de la corriente diferencial que impide operaciones no deseadas en corrientes de avalancha del transformador. Bloqueo basado en la relación del quinto armónico y el componente de frecuencia básico de la corriente diferencial que previene el funcionamiento en situaciones no dañinas de sobre excitación del transformador que se podrán eliminar cuando la relación del quinto armónico y el componente de frecuencia básico aumente a sobretensiones elevadas. En la Figura 1.10 se muestra el relé SPAD 346 C3.



**Figura 1.10** Relé SPAD 346 C3 ABB

#### 1.4.3.5.2 Protección de Sobrecorriente y Falla a tierra

El relé combinado de sobrecorriente y falla tierra SPAJ 140C marca ABB se encuentra brindando protección al transformador principal de la subestación, este dispositivo presenta facilidades de disparo, señalización e incluye la protección de falla de interruptor.

Este relé secundario se encuentra conectado a los transformadores de corriente del transformador principal, la unidad de sobrecorriente trifásica y la unidad de falla a tierra miden continuamente las corrientes de fase y la corriente de neutro. Cuando se presenta una falla en el sistema, el relé opera disparando el

interruptor con lo que inicia la reconexión de manera automática de acuerdo a la configuración del relé. Las señales de arranque de las unidades pueden ser utilizadas para bloquear los relés de protección vinculados y para iniciar la reconexión automático, en la Figura 1.11 se puede apreciar al relé SPAJ 140C.



**Figura 1.11** Relé SPAJ 140C ABB

#### 1.4.3.5.3 Relé de Protección de alimentador SEL

La salida 1, alimentadora Interconexión, de la subestación se encuentra protegido por el relé de protección de alimentador 751A marca SEL, el cual brinda protección contra sobrecorriente, sobre voltaje, bajo voltaje y frecuencia.

Además este relé nos brinda amplias opciones de protección y control como:

- Elementos de sobrecorriente en las fases, neutro, residual y secuencia negativa (50P/50N/50G/50Q).
- Corrientes y voltajes producidas por alta y baja frecuencia
- Alta y baja frecuencia (81).
- Fallo del disyuntor o contacto.
- Control de reconexión automático
- Detección de arco eléctrico (50PAF)
- Sobre y bajo voltaje (59, 59G, 59Q, 27)
- Elementos de alimentación
- Factor de Potencia
- Taza de cambio de frecuencia (81R)
- Pérdida de una fase (60)
- Verificación de sincronismo (25)
- Medición de sobrecorriente residual (50G/51G).

En la Figura 1.12 se muestra el relé de protección de alimentador SEL-751A.



**Figura 1.12** Relé de protección de alimentador SEL-751A

#### 1.4.3.5.4 Relé de Protección de alimentador ABB

En las salidas de las alimentadoras Engabao, Ciudadela Victoria, Central Playas y Centro de playas, se encuentra el relé de protección de alimentador SPAA 341 2C marca ABB, el cual se utiliza para la protección primaria de alimentadoras de distribución.

El relé proporciona protección de sobre intensidad, cortocircuitos, falla a tierra y discontinuidad de fase. Varios principios de la protección de falla a tierra están disponibles, incluyendo la protección de falta a tierra direccional, no direccional y protección de sobretensión residual. En la Figura 1.13 se muestra el relé SPAA 341 2C.





**Figura 1.13** Relé SPAA 341 2C ABB

#### 1.4.3.6 Tablero de Servicios Auxiliares

##### 1.4.3.6.1 Relé de Baja Frecuencia

En el tablero de Servicios Auxiliares de la Subestación Playas se encuentra el relé de baja frecuencia SPAF 340 C3 marca ABB tipo 81, el cual se emplea para desconectar carga cuando la potencia consumida sobrepasa la potencia disponible, lo cual se manifiesta un desequilibrio en la frecuencia del sistema. En la Figura 1.14 se observa al relé de baja frecuencia.



**Figura 1.14** Relé SPAF 340 C3 ABB

#### 1.4.3.6.2 Panel de alarmas

La subestación cuenta con un panel de alarmas que lo conforma 18 indicadores, los cuales se encienden cuando se presentan anomalías en las instalaciones. En la Figura 1.15 se puede apreciar al panel.



**Figura 1.15** Panel de alarmas

### 1.4.3.6.3 Otros dispositivos de control y protección

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Marca</b>	<b>Tipo</b>
1	Breakers 3p-200A	Mitsubishi	NF225-SP
1	Breakers 2p-100A	Mitsubishi	NF100-SP
1	Breakers 2p-5A	Mitsubishi	NF30-SP
1	Breakers 3p-100A	Mitsubishi	NF100-SP
2	Breakers 3p-30A	Mitsubishi	NF50-SP
1	Breakers 3p-10A	Mitsubishi	NF50-SP
1	Breakers 3p-20A	Mitsubishi	NF50-SP
1	Breakers 3p-15A	Mitsubishi	NF50-SP

**Tabla 1.14** Dispositivos de control y protección

## **CAPÍTULO 2.**

### **ESTUDIOS DE FLUJO DE CARGA.**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presenta el estudio de flujo de carga de la subestación Playas, donde el análisis se lo debe hacer en condiciones de máxima y mínima carga. Para poder realizar el estudio antes mencionado, ha sido importante usar la herramienta computacional de simulación de sistemas eléctricos de potencia PowerWorld Simulator versión 17 para estudiantes que es distribuida de forma gratuita en la página oficial de POWER WORLD CORPORATION.

La simulación nos va a ayudar a entender el comportamiento del sistema eléctrico de la subestación en las condiciones críticas, mostrando así los datos importantes de la subestación como el voltaje con el que está operando cada barra, la potencia que fluye por cada línea y la potencia total que consume.

PowerWorld Simulator es un software interactivo de simulación de sistemas de potencia diseñado para simular la operación de sistemas eléctricos de alta tensión que presenta resultados muy parecidos a los reales. El programa contiene un paquete de análisis altamente eficiente capaz de solucionar sistemas de hasta 13 barras ya que solo es una versión de estudiante, pero es muy útil para nuestro estudio ya que no se va a utilizar más del límite.

## **2.2 CRITERIOS ADOPTADOS PARA EL ESTUDIO**

### **2.2.1 Flexibilidad Operacional**

El sistema podrá funcionar mediante el suministro proporcionado por el sistema de Subtransmisión que alimenta a la subestación El Morro a nivel de 69 KV sin ninguna restricción.

### **2.2.2 Niveles de Confiabilidad.**

El sistema debe proveer la continuidad del servicio y la alimentación a las instalaciones de los sectores urbanos de playas, empresas y a la subestación

Cerecita en forma prioritaria, ante la existencia de falla de un elemento del Sistema.

La subestación Playas presenta un nivel de confiabilidad reducido, debido a que posee una sola fuente de alimentación y al presentarse una falla el sistema queda sin servicio. Debido a lo anterior mencionado se recomienda estudiar la posibilidad de instalar una segunda fuente de alimentación para aumentar el nivel de confiabilidad, aunque el sistema de doble alimentación es costoso.

### **2.2.3 Niveles de sobrecarga.**

No se aceptan sobrecarga en los cables del Sistema mayores a la cargabilidad establecida en las especificaciones técnicas, es decir los límites a los cuales los cables pueden conducir determinado nivel de corriente.

Para el caso de los Transformadores Convencionales de Fuerza, la carga no debe exceder su capacidad OA. o FA

### **2.2.4 Regulación de Voltaje.**

Los voltajes a nivel de barras del Sistema no deben exceder del 2.5% hacia arriba y 2.5% hacia abajo, ante cualquier contingencia operativa.

## **2.3 ANÁLISIS DE CASOS**

En el presente estudio se analizará dos casos extremos de operación, lo cuales son:

- CASO 1 Estudios de flujo de carga – caso base carga máxima
- CASO 2 Estudios de flujo de carga – caso base carga mínima

### **2.3.1 Estudios de flujo de carga – caso base carga máxima**

Con la situación actual de la subestación Playas, se realizará el estudio de flujo de carga considerando una carga máxima.

### **2.3.2 Estudios de flujo de carga – caso base carga mínima**

Se procederá a considerar un valor de carga mínima presente en la subestación, para realizar los estudios pertinentes considerando la configuración actual.

## **2.4 DATOS DEL SISTEMA**

Para realizar el estudio del Sistema en una Subestación de Distribución es indispensable conocer las características de cada componente presente en la misma.

En esta sección del trabajo se encuentra las características de equipos como: transformador de fuerza, conductores, líneas y barras. Es importante recalcar la

importancia de esta información debido a que constituyen la base para realizar los correspondientes cálculos que permitirán obtener la adecuada coordinación de las protecciones.

#### **2.4.1 Datos de Transformador de Fuerza**

La subestación Playas dispone de un transformador de potencia marca MITSUBISHI de 69000/13800 Voltios, 10/12.5 MVA, con una conexión delta-estrella sólidamente aterrizada.

El transformador principal de la Subestación Playas consta de las características descritas en la Tabla 2.1.

<b>TRANSFORMADOR DE POTENCIA MITSUBISHI</b>	
Tipo	L-SPEC HB61557 Acorazado
Modelo	CRB
N° Serie	9812281209
Norma	IEC-76
Frecuencia	60HZ
Fases	3



Capacidad	10/12.5 MVA
Voltaje	69/13.8 KV
Nivel básico de impulso A.T.	350 KV
Nivel básico de impulso B.T.	110 KV
Impedancia	7.38%
Corriente A.T.	83.7/105 A
Corriente B.T.	418/523 A
Tipo de enfriamiento	ONAN / ONAF
Volumen de aceite	7200 L
Peso núcleo y bobinas	12800 Kg
Peso tanque y accesorios	6000 Kg
Peso aceite	6500 Kg

**Tabla 2.1.** Características del Transformador de Potencia

#### 2.4.2 Datos de líneas y conductores

Las alimentadoras Cdla. Victoria, Central Playas, Sector Centro, Interconexión y Engabao utilizan un conductor en cada fase de ACSR 4/0, mientras todas tienen un neutro de ACSR 2/0 excepto la Cdla. Victoria que tiene un ACSR 1/0.

Las características del conductor para las fases antes nombrado se presentan en la Tabla 2.2

Diámetro [mm]	Carga de Rotura [lbs]	Peso [lbs/km]	Resistencia Eléctrica				Reactancia a un Pie de Separación a 60 Hz	
			DC	AC a 60 [Hz]			Capacitiva [M $\Omega$ .Km]	Inductiva [ $\Omega$ /Km]
			20 °C [ $\Omega$ /km]	25 °C [ $\Omega$ /km]	50 °C [ $\Omega$ /km]	75 °C [ $\Omega$ /km]		
143	8350	954.72	0.2608	0.2697	0.3497	0.3796	1.9573	0.3163

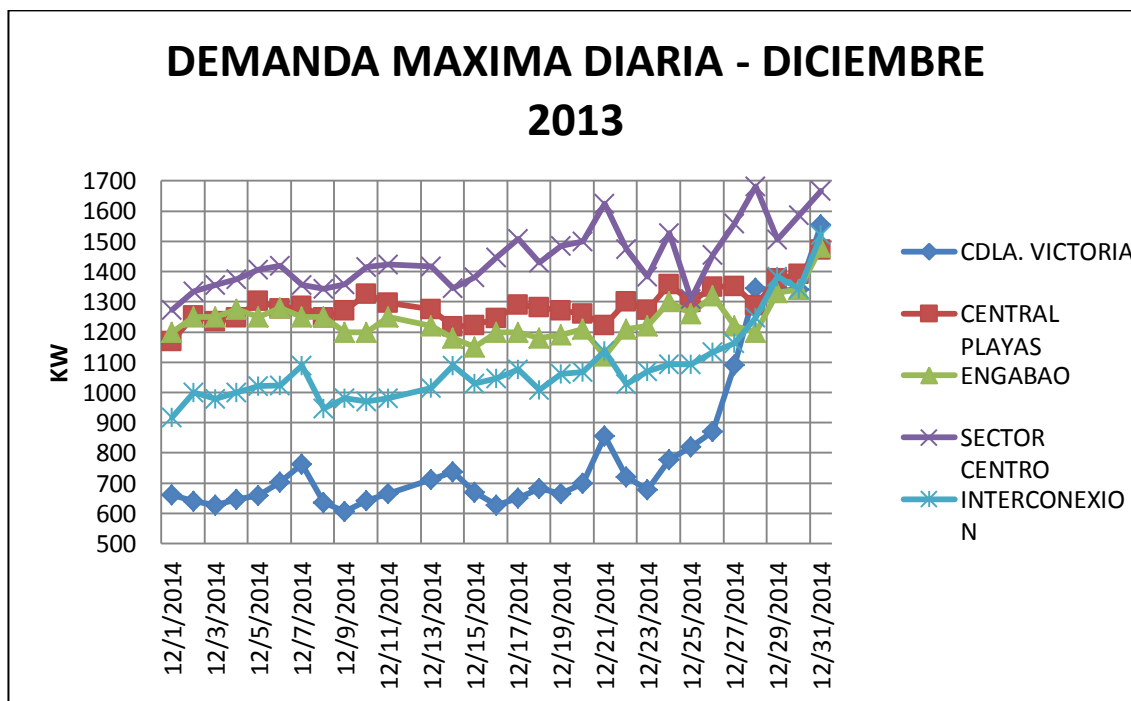
**Tabla 2.2** Impedancia del conductor ACSR 4/0

### 2.4.3 Datos de barras de carga

#### 2.4.3.1 Carga Máxima

CNEL Santa Elena división Playas nos proporcionó los datos de carga de todas las alimentadoras del mes de Diciembre del 2013 el cual es fin de año, ya que Playas es un balneario muy conocido en nuestro país, nos ayuda bastante para poder realizar el flujo de carga con demanda máxima, es decir con el caso más crítico.

En la Figura 2.1 se muestra la curva de carga de la demanda máxima por cada día en cada una de las alimentadoras del mes de Diciembre del 2013.



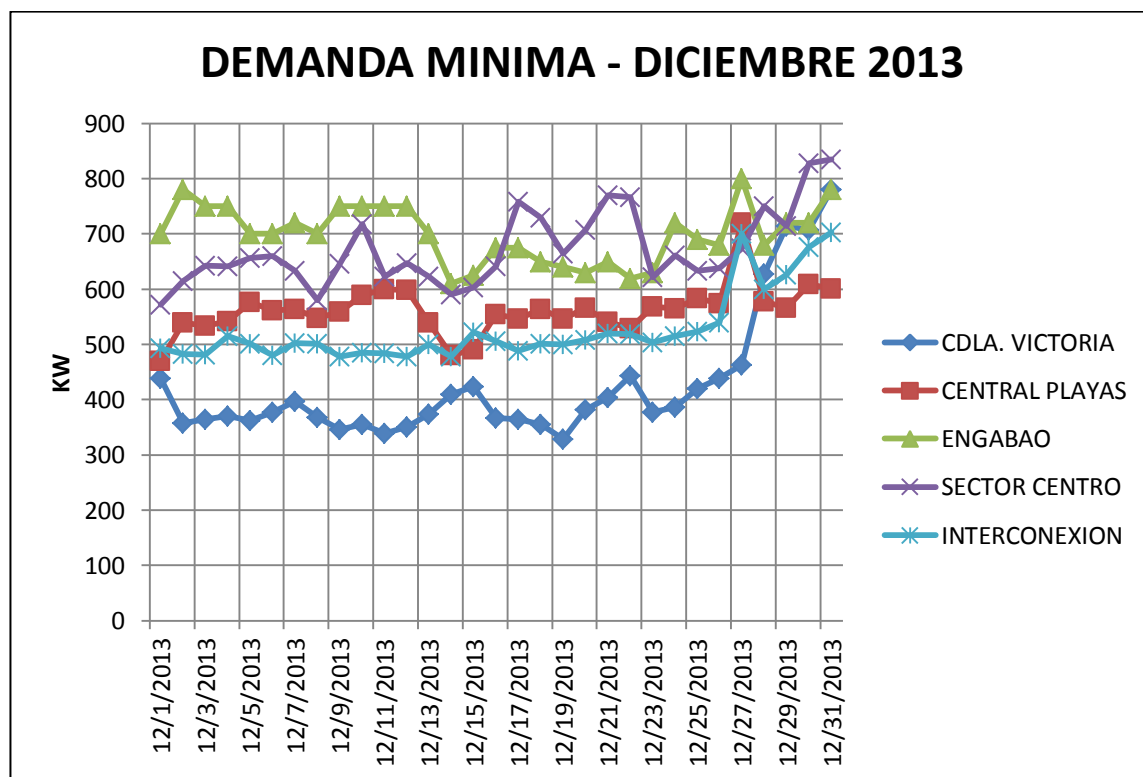
**Figura 2.1** Demanda máxima del mes de Diciembre 2013

De acuerdo al análisis respectivo se obtuvo que la demanda máxima total de las alimentadoras fue el día 31 de diciembre del 2013 a las 20h00 el cual representa una hora pico de un feriado, los valores se muestran en la Tabla 2.3.

ALIMENTADORAS	KW	KVAR	KVA	FP
<b>CDLA. VICTORIA</b>	1554	487	1628.52	0.95
<b>CENTRAL PLAYAS</b>	1473	510	1558.79	0.94
<b>ENGABAO</b>	1480	620	1604.62	0.92
<b>SECTOR CENTRO</b>	1666	367	1705.94	0.97
<b>INTERCONEXIÓN</b>	1521	179	1531.50	0.99

**Tabla 2.3** Demanda Máxima por Alimentadora

En la Figura 2.2 se muestra la carga mínima presente en cada alimentadora de la Subestación, durante el mes de Diciembre del año 2013.



**Figura 2.2** Demanda Mínima del mes de Diciembre 2013

En base a la información proporcionada por la Corporación Nacional de Electricidad de Santa Elena se realizó el respectivo análisis para determinar la carga mínima de cada alimentadora, la cual se presentó el día 14 de Diciembre del año 2013. La Tabla 2.4 se muestra los valores de la carga mínima de cada alimentadora.

<b>ALIMENTADORAS</b>	<b>KW</b>	<b>KVAR</b>	<b>KVA</b>	<b>FP</b>
<b>CDLA. VICTORIA</b>	472	230	525.06	0.88
<b>CENTRAL PLAYAS</b>	518	315	606.26	0.85
<b>ENGABAO</b>	610	500	788.73	0.82
<b>SECTOR CENTRO</b>	622	39	623.22	0.99
<b>INTERCONEXIÓN</b>	478	-42	479.84	0.99

*Tabla 2.4 Demanda Mínima por Alimentadora*

## **2.5 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE FLUJO DE CARGA**

Los resultados de Flujo de carga serán presentados en forma gráfica por ser el método más conciso y usualmente más informativo. El flujo del sistema puede ser rápidamente analizado con la presentación gráfica y relacionar la configuración del sistema, condiciones operativas y resultados.

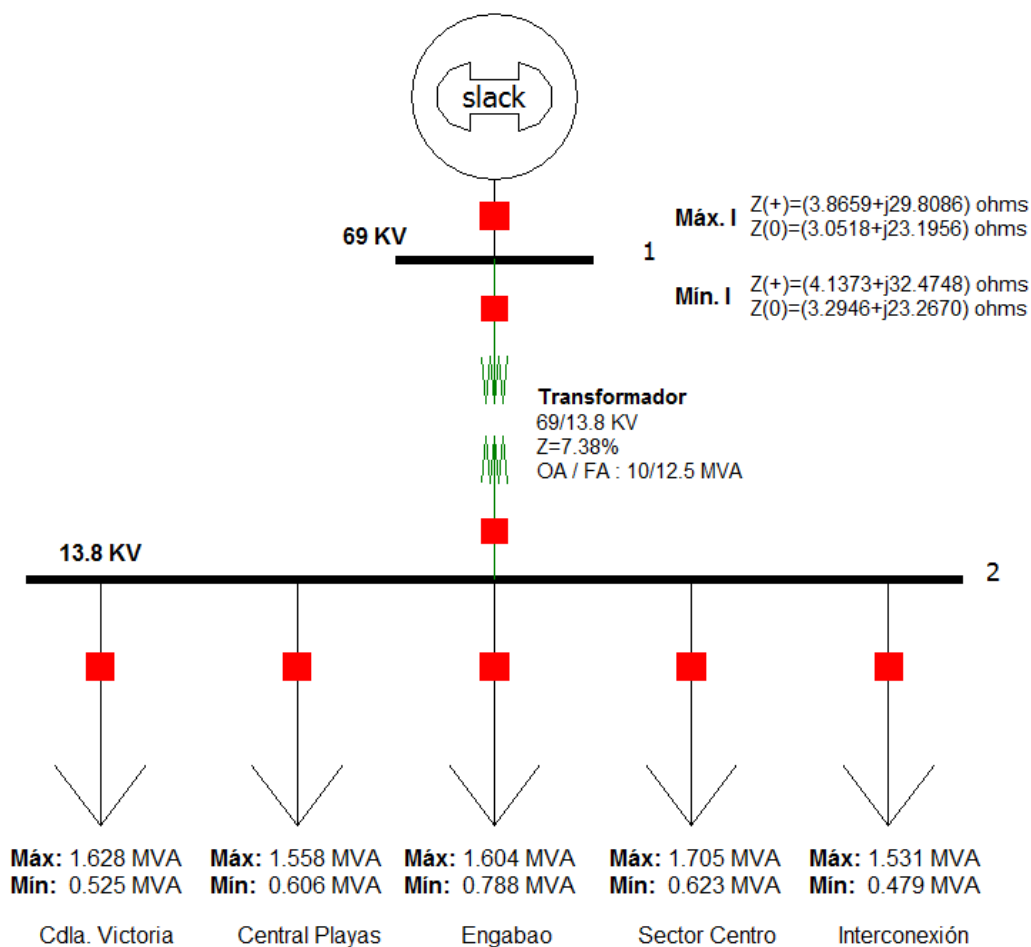
El análisis del flujo de carga muestra lo siguiente:

- a) Voltaje en barras.
- b) Consumo de las cargas
- c) Factor de Potencia.
- d) Requerimientos de potencia Reactiva.
- e) Carga sobre todos los conductores y transformadores, verificar que la carga este dentro de la capacidad de transmisión para condiciones normales y contingencias operativas.

f) Ajustes de TAPS de los Transformadores.

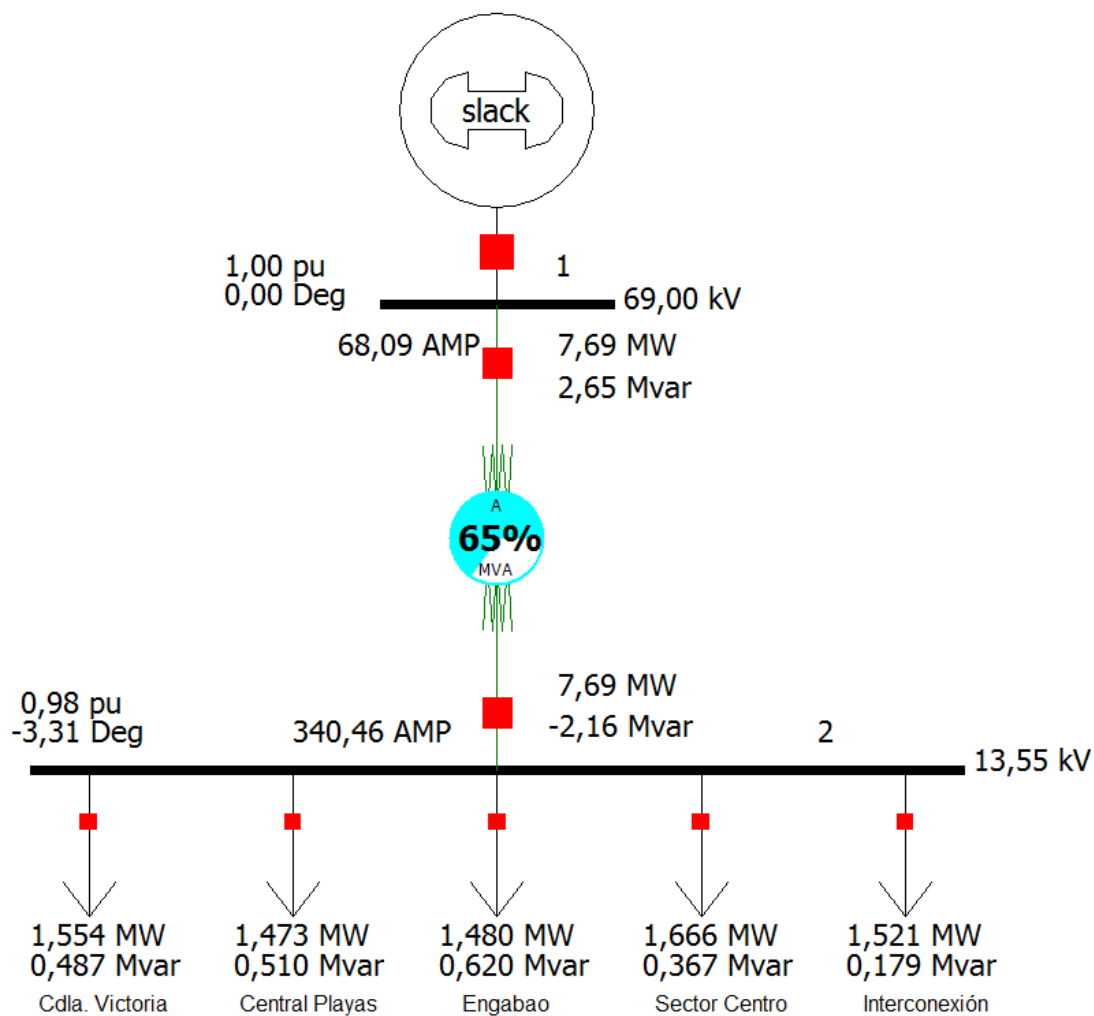
### 2.5.1 Casos base.

Los gráficos de la simulación que se debe realizar del flujo de carga máxima y mínima se muestran a continuación. En la Figura 2.3 se muestra los datos que se ingresaron en el simulador para poder realizar el estudio.



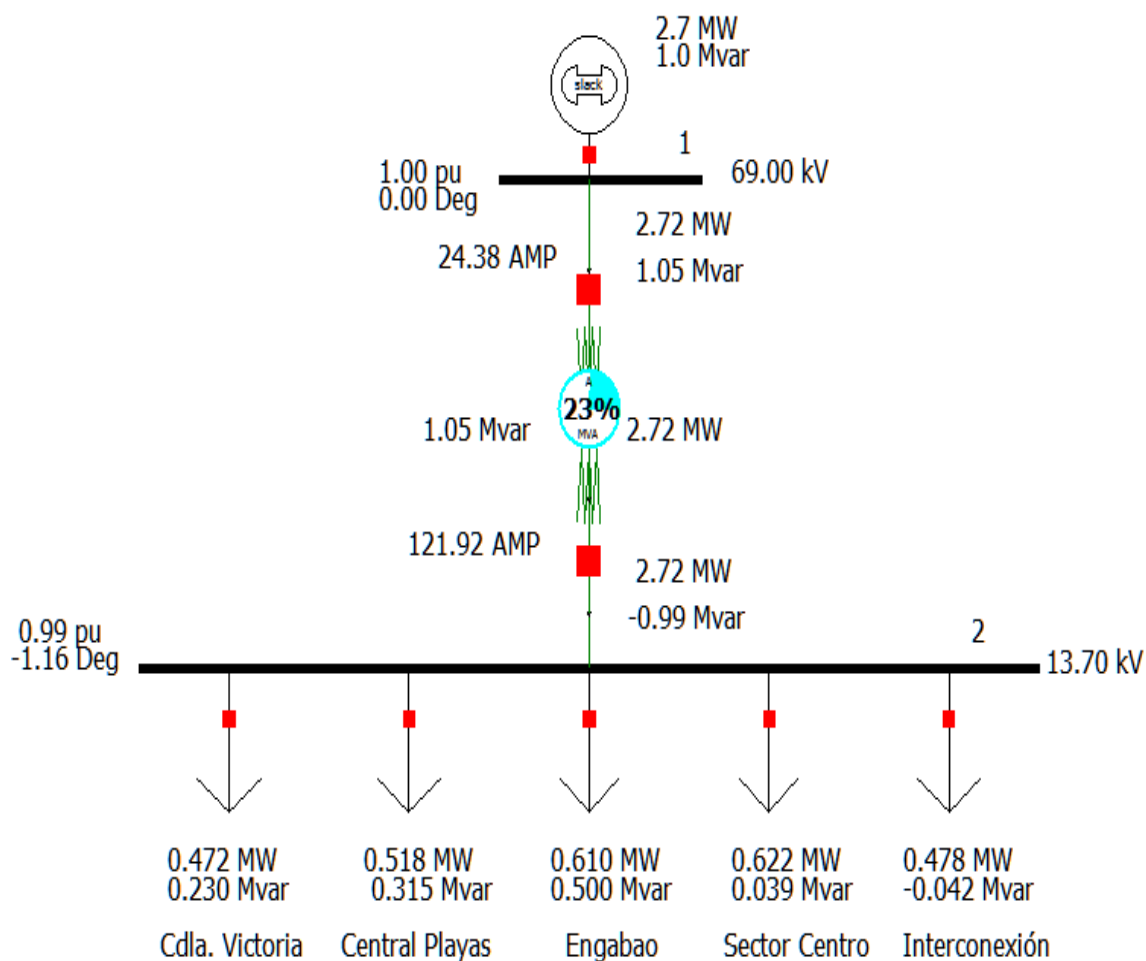
**Figura 2.3** Resumen de Datos para flujo de Potencia.

En la Figura 2.4 se muestra el flujo de máxima carga de la subestación, tomando en cuenta los valores de demanda máximo que se registraron en cada alimentadora.



**Figura 2.4** Flujo de Potencia para Carga Máxima.

En la Figura 2.5 se muestra el flujo de potencia mínima de la subestación, tomando los menores valores de demanda de cada alimentadora.



**Figura 2.5** Flujo de Potencia para Carga Mínima

En el Anexo 2 se adjunta los resultados gráficos del Flujo de carga para máxima y mínima carga, que se resume a continuación:



### 2.5.1.1 Voltajes en barras

No	Nombre	V. Nom (KV)	Voltaje (p.u.)	Fase	Voltaje (KV)
1	Barra 69 KV	69	1.000	0.00	69
2	Barra 13.8 KV	13.8	0.98	-3.31	13.55

**Tabla 2.5** Voltajes en barras para Carga Máxima

No	Nombre	V. Nom (KV)	Voltaje (p.u.)	Fase	Voltaje (KV)
1	Barra 69 KV	69.0	1.00	0	69.00
2	Barra 13.8 KV	13.8	0.99	-1.16	13.70

**Tabla.2.6** Voltajes en barras para carga mínima

### 2.5.1.2 Consumo de Potencia Activa y Reactiva en la barra de 13.8KV

Consumo – Carga Máxima		
Barra de Carga	MW	MVAR
13.8 KV	7.69	- 2.16

**Tabla 2.7** Consumo para Carga Máxima

<b>Consumo – Carga Mínima</b>		
<b>Barra de Carga</b>	<b>MW</b>	<b>MVAR</b>
13.8 KV	2.72	-0.99

*Tabla 2.8 Consumo para Carga Mínima*

### 2.5.1.3 Factor de Potencia

<b>Carga Máxima</b>	0.963
<b>Carga Mínima</b>	0.940

*Tabla 2.9 Factor de Potencia*

### 2.5.1.4 Carga del Transformador

<b>Desde</b>	<b>Hasta</b>	<b>MW</b>	<b>MVAR</b>	<b>MVA</b>	<b>MVA LIM</b>	<b>% lim</b>	<b>Perd MW</b>	<b>Perd MVAR</b>
Barra 69 KV	Barra 13.8 KV	7.69	2.65	8.14	12.50	65.1	0.000	0.489

*Tabla 2.10 Potencia entre barras para Máxima Carga*

Desde	Hasta	MW	MVAR	MVA	MVA LIM	% lim	Perd MW	Perd MVAR
Barra 69 KV	Barra 13.8 KV	2.72	1.05	2.91	12.5	23.31	0.000	0.063

**Tabla 2.11** Potencia entre barras para Mínima Carga

### 2.5.1.5 Potencia Activa y Reactiva recibida del Sistema

Potencia recibida para carga máxima		
Barra 69 KV	7.69 MW	2.65 MVAR

**Tabla 2.12** Potencia recibida para carga máxima

Potencia recibida para carga mínima		
Barra 69 KV	2.7 MW	1.0 MVAR

**Tabla 2.13** Potencia recibida para mínima Carga

### 2.5.1.6 TAP del Transformador de Potencia

Transformador	TAP en alta tensión
MITSUBISHI 69/13.8 KV, 10/12.5 OA/FA	3

**Tabla 2.14** Ajuste del Tap del Transformador

## 2.6 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA

El flujo de potencia de potencia realizado para la carga presente en la subestación Playas nos permite determinar lo siguiente:

- Para optimizar el nivel de confiabilidad de la Subestación convendría estudiar la posibilidad de instalar otra fuente de alimentación, es decir tener una doble alimentación, ya que de presentarse una falla es posible mantener la continuidad de servicio en el sistema.
- La subestación provee de la energía necesaria para suplir la carga en su totalidad, cumpliendo las condiciones normales de operación, para ambos casos bases de Mínima y Máxima carga.
- La potencia que consumen el conjunto de alimentadoras es de 7.69 MW y 2.65 MVAR para carga máxima, mientras que para carga mínima los valores corresponden a 2.7 MW y 1.0 MVAR.
- En el caso de máxima carga la alimentadora Sector Centro presenta mayor carga conectada a la subestación, caso contrario ocurre con la alimentadora Interconexión bajo las mismas condiciones. Cuando se realizó el estudio para el caso de mínima carga la alimentadora Interconexión presentó una menor carga y la alimentadora Engabao un mayor consumo.

- Los voltajes son 1.00 p.u. en la barra de 69 KV y 0.982 p.u. en la de 13.8 KV para el caso de carga máxima. Los voltajes en la condición de mínima carga son de 1.00 p.u en la barra de 69 KV y 0.988 p.u. en la barra de 13.8KV. Los voltajes que se obtuvieron en la simulación se encuentran dentro del porcentaje permitido.
- El transformador de potencia de la Subestación, cuando opera en condiciones de carga máxima se encuentra en 65% de la capacidad FA y el 23% de la capacidad FA para la carga mínima.
- Debido a que los voltajes en las barras del sistema se encuentran dentro del rango de regulación permitido, 2.5% hacia arriba y hacia abajo, es recomendable mantener el TAP en la posición 3.

## **CAPÍTULO 3**

### **ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO.**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN.**

En el análisis de corto circuito, las fallas del sistema se manifiestan como condiciones anormales de operación que nos podrían conducir a uno de los siguientes fenómenos:

- Indeseables flujos de Corrientes.
- Presencia de Corrientes de magnitudes exageradas que podrían dañar los equipos.

- Caída de Voltaje en la vecindad de la falla que puede afectar adversamente la operación de las maquinas rotatorias.
- Creación de condiciones peligrosas para la seguridad del personal.

Se realiza el estudio de Corto Circuito del sistema de la S/E Playas para resolver las situaciones críticas señaladas, y obtener la información básica para la coordinación de las protecciones. El estudio tiene los siguientes objetivos:

- Determinar el efecto de las corrientes de falla en los componentes del sistema tales como cables, barras y transformadores durante el tiempo que persista la falla.
- Los estudios determinaran las zonas del sistema en donde la falla puede resultar en depresión inaceptable de voltajes.
- Determinar del ajuste de los equipos de protección, los cuales son establecidos considerando el sistema bajo condiciones de falla.

### **3.2 ALCANCE DE LOS ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO**

Considerando que el Sistema de distribución eléctrica Playas se caracteriza por ser un sistema típicamente aterrizado, el estudio de corto circuito considera los siguientes tipos de falla:

- Falla Trifásica a tierra
  
- Falla de línea a tierra.
  
- Falla de línea-línea
  
- Falla de dos líneas a tierra.

La falla trifásica a tierra es a menudo, para este tipo de sistema, la más severa de todas, por ello es costumbre de simular solamente la falla trifásica cuando se busca las magnitudes máximas de corriente de falla; sin embargo en este estudio de cortocircuito se va a analizar las corrientes para los tipos de falla antes mencionado, con el objetivo de verificar en qué tipo de falla se da la máxima corriente.

### **3.3 DATOS DEL SISTEMA.**

#### **3.3.1 Impedancias Equivalentes en la barra de la subestación**

La empresa pública CNEL nos ha entregado los MVA de Corto Circuito y las Impedancias de Thevenin en la Barra de Interconexión a 69 KV, de la Subestación de Distribución Playas. La información ha sido trasladada a la base de 100 [MVA] y 69 [KV] y se indica en las siguientes tablas.



### 3.3.1.1 MVA de corto circuito

Tipo de Falla	MVA de Corto Circuito
Trifásica	158

*Tabla 3.1 MVA de corto circuito para máxima generación*

Tipo de Falla	MVA de Corto Circuito
Trifásica	142

*Tabla 3.2 MVA de corto circuito para mínima generación*

### 3.3.1.2 Impedancias equivalentes

Tipo de Impedancia	R p.u.	X p.u.	R + j X Ohmios	X/R
Positiva	0,0812	0,6261	3.8659+j29.8086	7.7106
Negativa	0,0812	0,6261	3.8659+j29.8086	7.7106
Cero	0,0641	0,4872	3.0518+j23.1956	7.6006

*Tabla 3.3 Impedancias equivalentes de máxima generación para 69 KV*

Tipo de Impedancia	R p.u.	X p.u.	R + j X Ohmios	X/R
Positiva	0,0869	0,6821	4.1373+j32.4748	7.8493
Negativa	0,0869	0,6821	4.1373+j32.4748	7.8493
Cero	0,0692	0,4887	3.2946+j23.2670	7.0621

*Tabla 3.4 Impedancias equivalentes de mínima generación para 69 KV*

Estas Impedancias se aplicaran para los cálculos de la corriente momentánea y la corriente a interrumpir debido a que CNEL es considerada siempre como una barra infinita que se caracteriza por no tener decremento AC.

### 3.3.1.3 Corrientes de cortocircuito

Tipo de Falla	Corriente de cortocircuito [A]
Trifásica	1442
Dos líneas a Tierra	1534
Línea a Línea	1248
Línea a Tierra	1551

**Tabla 3.5** Corrientes de cortocircuito de máxima generación para 69 KV

Tipo de Falla	Corriente de cortocircuito [A]
Trifásica	1339
Dos líneas a Tierra	1438
Línea a Línea	1159
Línea a Tierra	1478

**Tabla 3.6** Corrientes de cortocircuito de mínima generación para 69 KV

Tipo de Falla	Corriente de cortocircuito [A]
Trifásica	3178
Dos líneas a Tierra	3596
Línea a Línea	2752
Línea a Tierra	3724

**Tabla 3.7** Corrientes de cortocircuito de máxima generación para 13.8 KV

Tipo de Falla	Corriente de cortocircuito [A]
Trifásica	3063
Dos líneas a Tierra	3512
Línea a Línea	2653
Línea a Tierra	3619

**Tabla 3.8** Corrientes de cortocircuito de mínima generación para 13.8 KV

### 3.3.2 Datos de Conductores.

Los conductores son elementos pasivos en el análisis de corto circuito, sus características técnicas son similares a las aplicadas en los estudios de flujo de carga.

### 3.3.3 Datos de Transformadores de Fuerza.

Igual que en el caso de los conductores los Transformadores son elementos pasivos en el análisis de corto circuito, sus características técnicas son similares a las aplicadas en los estudios de flujo de carga.

### 3.3.4 Datos de Motores

En nuestro estudio de la subestación Playas no hay cargas de motores de gran capacidad que afecte de manera significativa al sistema, ni a las fallas

### **3.4 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO.**

Las corrientes de cortocircuito han sido calculadas considerando los criterios técnicos indicados en la sección 2.4. La falla Trifásica a tierra, línea a tierra, dos líneas a tierra y línea a línea, se aplica a cada barra del sistema.

#### **3.4.1 Casos base.**

En el anexo 3 se adjunta los resultados gráficos de los resultados de las simulaciones de Corto Circuito en los casos base, que se muestran a continuación:

##### **3.4.1.1 Corriente de Falla en cada barra – Carga Máxima.**

El análisis de las corrientes de falla se los va a realizar en las barras de 69 [KV] y 13.8 [KV] con carga máxima de la subestación Playas, de acuerdo al sistema simulado en PowerWorld, con el fin de conocer cuál es la corriente de falla con mayor magnitud, para posteriormente poder realizar el ajuste de las protecciones.

##### **3.4.1.2 Corriente de Falla Trifásica.**

En la Tabla 3.9 se muestra los resultados del cálculo de las corrientes de cortocircuito para una falla trifásica primero en la barra de 69 [KV] y después en la barra de 13.8 [KV].

<b>Barra Nivel de voltaje [KV]</b>	<b>Corriente [p.u.]</b>	<b>Corriente [A]</b>	<b>Ángulo [Deg]</b>
<b>69</b>	1.622	1357	-80
<b>13.8</b>	0.749	3134	-84

*Tabla 3.9 Corrientes de cortocircuito para Falla Trifásica*

#### **3.4.1.3 Corriente de Falla de Línea a Tierra.**

En la Tabla 3.10 se muestra los resultados del cálculo de las corrientes de cortocircuito para una falla de línea a tierra primero en la barra de 69 [KV] y después en la barra de 13.8 [KV].

<b>Barra Nivel de voltaje [KV]</b>	<b>Corriente [p.u.]</b>	<b>Corriente [A]</b>	<b>Ángulo [Deg]</b>
<b>69</b>	1.740	1455.79	-80.74
<b>13.8</b>	0.879	3677.4	-86

*Tabla 3.10 Corrientes de cortocircuito para Falla de Línea a Tierra*

#### **3.4.1.4 Corriente de Falla de dos Líneas a Tierra.**

En la Tabla 3.11 se muestra los resultados del cálculo de las corrientes de cortocircuito para una falla de dos líneas a tierra primero en la barra de 69 [KV] y después en la barra de 13.8 [KV].

Barra Nivel de voltaje [KV]	Corriente [p.u.]	Corriente [A]	Ángulo [Deg]
69	1.876	1569.81	98.45
13.8	1.061	4437.71	91

**Tabla 3.11** Corrientes de cortocircuito para Falla de dos Líneas a Tierra

Para este tipo de falla en la barra de 13.8 KV se debe tomar en cuenta que la corriente que se muestra en la Tabla 3.11 es la suma vectorial de la que circula por cada fase, y nos va a servir para poder calcular la capacidad de interrupción de los equipos. Los datos de corriente que circula para esta falla se muestran en la Tabla 3.12 a continuación.

Barra Fallida	Nombre	Corrientes de cortocircuito		
		Fase A [A]	Fase B [A]	Fase C [A]
2	13.8 KV	0	3355.36	3650.61

**Tabla 3.12** Corrientes de cortocircuito por fase para Falla de dos Líneas a Tierra

#### 3.4.1.5 Corriente de Falla de Línea a Línea.

En la Tabla 3.13 se muestra los resultados del cálculo de las corrientes de cortocircuito para una falla de dos líneas a tierra primero en la barra de 69 [KV] y después en la barra de 13.8 [KV].

<b>Barra Nivel de voltaje [KV]</b>	<b>Corriente [p.u.]</b>	<b>Corriente [A]</b>	<b>Ángulo [Deg]</b>
<b>69</b>	1.404	1175.19	-170
<b>13.8</b>	0.649	2714.74	-174

**Tabla 3.13** Corrientes de cortocircuito para Falla de dos Líneas a Tierra

#### **3.4.2.1 Corriente de Falla en cada barra – Carga Mínima.**

El análisis de las corrientes de falla se los va a realizar en las barras de 69 [KV] y 13.8 [KV] con carga mínima de la subestación Playas, de acuerdo al sistema simulado en PowerWorld, con el fin de conocer cuál es la corriente de falla con menor magnitud, para posteriormente poder realizar el ajuste de las protecciones.

#### **3.4.2.2 Corriente de Falla Trifásica.**

En la Tabla 3.14 se muestra los resultados del cálculo de las corrientes de cortocircuito para una falla trifásica primero en la barra de 69 [KV] y después en la barra de 13.8 [KV].

<b>Barra Nivel de voltaje [KV]</b>	<b>Corriente [p.u.]</b>	<b>Corriente [A]</b>	<b>Ángulo [Deg]</b>
<b>69</b>	1.469	1229	-81.75
<b>13.8</b>	0.710	2971	-85.52

**Tabla 3.14** Corrientes de cortocircuito para Falla Trifásica

### 3.4.2.3 Corriente de Falla de Línea a Tierra.

En la Tabla 3.15 se muestra los resultados del cálculo de las corrientes de cortocircuito para una falla de línea a tierra primero en la barra de 69 [KV] y después en la barra de 13.8 [KV].

Barra Nivel de voltaje [KV]	Corriente [p.u.]	Corriente [A]	Ángulo [Deg]
69	1.617	1353.1	-81.80
13.8	0.843	3528.68	-86.69

*Tabla 3.15 Corrientes de cortocircuito para Falla de Línea a Tierra*

### 3.4.2.4 Corriente de Falla de dos Líneas a Tierra.

En la Tabla 3.16 se muestra los resultados del cálculo de las corrientes de cortocircuito para una falla de dos líneas a tierra primero en la barra de 69 [KV] y después en la barra de 13.8 [KV].

Barra Nivel de voltaje [KV]	Corriente [p.u.]	Corriente [A]	Ángulo [Deg]
69	1.799	1504.98	98.14
13.8	1.037	4340.28	91.58

*Tabla 3.16 Corrientes de cortocircuito para Falla de dos Líneas a Tierra*



Para este tipo de falla en la barra de 13.8 KV se debe tomar en cuenta que la corriente que se muestra en la Tabla 3.16 es la suma vectorial de la que circula por cada fase, y nos va a servir para poder calcular la capacidad de interrupción de los equipos. Los datos de corriente que circula para esta falla se muestran en la Tabla 3.17 a continuación.

Barra Fallida	Nombre	Corrientes de cortocircuito		
		Fase A [A]	Fase B [A]	Fase C [A]
2	13.8 KV	0	3281.12	3448.91

**Tabla 3.17** Corrientes de cortocircuito por fase para Falla de dos Líneas a Tierra

#### 3.4.2.5 Corriente de Falla de Línea a Línea.

En la Tabla 3.18 se muestra los resultados del cálculo de las corrientes de cortocircuito para una falla de dos líneas a tierra primero en la barra de 69 [KV] y después en la barra de 13.8 [KV].

Barra Nivel de voltaje [KV]	Corriente [p.u.]	Corriente [A]	Ángulo [Deg]
69	1.272	1064.41	-171.75
13.8	0.615	2573.18	-175.52

**Tabla 3.18** Corrientes de cortocircuito para Falla de dos Líneas a Tierra

### 3.4.2.6 Resumen de Corrientes de Falla en cada barra

En la tabla 3.19 se muestra en resumen de las corrientes que se presentaron en los distintos tipos de fallas bajo ambas condiciones de falla, es decir máxima y mínima carga.

<b>Máxima Carga</b>						
<b>69 KV</b>	<b>A (Amps)</b>	<b>A (Deg)</b>	<b>B (Amps)</b>	<b>B (Deg)</b>	<b>C (Amps)</b>	<b>C (Deg)</b>
LLL	1357	-80	1357	159.96	1357	39.97
LG	1455.79	-80.74	0	90	0	90
LLG	0	0	1395.77	155.76	1430.36	43.23
LL	0	0	1175.15	-170	1175.15	9.97
<b>13,8 KV</b>	<b>A (Amps)</b>	<b>A (Deg)</b>	<b>B (Amps)</b>	<b>B (Deg)</b>	<b>C (Amps)</b>	<b>C (Deg)</b>
LLL	3134.71	-84.02	3134.64	155.98	3134.64	35.98
LG	3677.4	-86	0	0	0	0
LLG	0	90	3355.36	144.77	3650.61	43.25
LL	0	0	2714.66	-174	2714.66	5.98
<b>Mínima Carga</b>						
<b>69 KV</b>	<b>A (Amps)</b>	<b>A (Deg)</b>	<b>B (Amps)</b>	<b>B (Deg)</b>	<b>C (Amps)</b>	<b>C (Deg)</b>
LLL	1229,07	-81.75	1229,05	158.25	1229,05	38.25
LG	1353,11	-81.80	0	0	0	0
LLG	0	0	1302,3	152.95	1304,72	43.47
LL	0	0	1064,38	-171.75	1064,38	8.25
<b>13,8 KV</b>	<b>A (Amps)</b>	<b>A (Deg)</b>	<b>B (Amps)</b>	<b>B (Deg)</b>	<b>C (Amps)</b>	<b>C (Deg)</b>
LLL	2971,25	-85.52	2971,19	154.48	2971,18	34.48
LG	3528.68	-86.69	0	0	0	0
LLG	0	90	3281.12	143.14	3448.91	43.42
LL	0	0	2573,1	-175.52	2573,1	4.48

**Tabla 3.19** Resumen de Corrientes de Falla

Para el caso base de mínima carga la menor corriente de falla se presenta en la falla de Línea a Línea en ambas barras.

### 3.4.3.1 Voltajes de Falla en cada Barra – Carga Máxima.

El análisis se los va a realizar en las barras de 69 KV y 13.8 KV con carga máxima de la subestación Playas, de acuerdo al sistema simulado en PowerWorld. A continuación se muestran los diferentes voltajes presentes para las distintas fallas presentadas en el sistema.

### 3.4.3.2 Voltaje de Falla Trifásica

En la Tabla 3.20 y Tabla 3.21 se muestra el voltaje presente para una Falla Trifásica en la barra de 69 KV y 13.8 KV respectivamente, este análisis fue efectuado bajo las condiciones de máxima generación.

Barra (KV)	Voltaje Fase A	Angulo Fase A	Voltaje Fase B	Angulo Fase B	Voltaje Fase C	Angulo Fase C
69	0	0	0	0	0	0
13.8	0	0	0	0	0	0

**Tabla 3.20** Voltajes para una Falla Trifásica en la Barra de 69KV

Barra (KV)	Voltaje Fase A	Angulo Fase A	Voltaje Fase B	Angulo Fase B	Voltaje Fase C	Angulo Fase C
69	0.55296	5.98	0.55296	-114.02	0.55296	125.98
13.8	0	0	0	0	0	0

**Tabla 3.21** Voltajes para una Falla Trifásica en la Barra de 13.8KV

### 3.4.3.3 Voltaje de Falla de Línea a Tierra

En la Tabla 3.22 y Tabla 3.23 se muestra el voltaje presente para una Falla de una Línea a Tierra en la barra de 69 KV y 13.8 KV respectivamente, este análisis fue efectuado bajo las condiciones de máxima generación.

Barra (KV)	Voltaje Fase A	Angulo Fase A	Voltaje Fase B	Angulo Fase B	Voltaje Fase C	Angulo Fase C
69	0	0	0.97753	-115.92	0.95389	116.61
13.8	0.27988	-1.55	0.86618	-102.61	0.85767	96.07

**Tabla 3.22** Voltajes para una Falla de una Línea a Tierra en la Barra de 69KV

Barra (KV)	Voltaje Fase A	Angulo Fase A	Voltaje Fase B	Angulo Fase B	Voltaje Fase C	Angulo Fase C
69	0.65239	5.06	0.95198	-109.96	0.89808	111.21
13.8	0	0	0.94777	-113.16	0.87112	108.36

**Tabla 3.23** Voltajes para una Falla de una Línea a Tierra en la Barra de 13.8KV

### 3.4.3.4 Voltaje de Falla de dos Líneas a Tierra

En la Tabla 3.24 y Tabla 3.25 se muestra el voltaje presente para una Falla de dos Líneas a Tierra en la barra de 69 KV y 13.8 KV respectivamente, este análisis fue efectuado bajo las condiciones de máxima generación.

Barra (KV)	Voltaje Fase A	Angulo Fase A	Voltaje Fase B	Angulo Fase B	Voltaje Fase C	Angulo Fase C
69	0.92191	0.95	0	0	0	0
13.8	0.60359	-2.36	0.30179	177.64	0.30180	177.64

**Tabla 3.24** Voltajes para una Falla de dos Líneas a Tierra en la Barra de 69KV

Barra (KV)	Voltaje Fase A	Angulo Fase A	Voltaje Fase B	Angulo Fase B	Voltaje Fase C	Angulo Fase C
69	0.79204	3.28	0.60686	-124.70	0.63564	134.47
13.8	0.78281	1.06	0	0	0	0

**Tabla 3.25** Voltajes para una Falla de dos Líneas a Tierra en la Barra de 13.8KV

### 3.4.3.5 Voltaje de Falla de Línea a línea

En la Tabla 3.26 y Tabla 3.27 se muestra el voltaje presente para una Falla de Línea a Línea en la barra de 69 KV y 13.8 KV respectivamente, este análisis fue efectuado bajo las condiciones de máxima generación.

Barra (KV)	Voltaje Fase A	Angulo Fase A	Voltaje Fase B	Angulo Fase B	Voltaje Fase C	Angulo Fase C
69	1.000	0	0.500	-180.00	0.500	180
13.8	0.98207	-3.31	0.49103	176.69	0.49104	176.69

**Tabla 3.26** Voltajes para una Falla de Línea a Línea en la Barra de 69KV

Barra (KV)	Voltaje Fase A	Angulo Fase A	Voltaje Fase B	Angulo Fase B	Voltaje Fase C	Angulo Fase C
69	1.000	0	0.65530	-133.38	0.72748	139.10
13.8	0.98207	-3.31	0.49104	176.69	0.49104	176.69

**Tabla 3.27** Voltajes para una Falla de Línea a Línea en la Barra de 13.8KV

### 3.4.4.1 Voltajes de Falla en cada Barra – Carga Mínima.

El análisis se los va a realizar en las barras de 69 KV y 13.8 KV con carga mínima de la subestación Playas, de acuerdo al sistema simulado en PowerWorld, con el fin de conocer el mayor nivel de voltaje. A continuación se muestran los diferentes voltajes presentes para las distintas fallas presentadas en el sistema.

### 3.4.4.2 Voltaje de Falla Trifásica

En la Tabla 3.28 y Tabla 3.29 se muestra el voltaje presente para una Falla Trifásica en la barra de 69 KV y 13.8 KV respectivamente, este análisis fue efectuado bajo las condiciones de mínima generación.

Barra (KV)	Voltaje Fase A	Angulo Fase A	Voltaje Fase B	Angulo Fase B	Voltaje Fase C	Angulo Fase C
69	0	0	0	0	0	0
13.8	0	0	0	0	0	0

**Tabla 3.28** Voltajes para una Falla Trifásica en la Barra de 69KV

Barra (KV)	Voltaje Fase A	Angulo Fase A	Voltaje Fase B	Angulo Fase B	Voltaje Fase C	Angulo Fase C
69	0.52373	4.50	0.52373	-115.50	0.52373	124.50
13.8	0	0	0	0	0	0

**Tabla 3.29** Voltajes para una Falla Trifásica en la Barra de 13.8KV

### 3.4.4.3 Voltaje de Falla de Línea a Tierra

En la Tabla 3.30 y Tabla 3.31 se muestra el voltaje presente para una Falla de una Línea a Tierra en la barra de 69 KV y 13.8 KV respectivamente, este análisis fue efectuado bajo las condiciones de mínima generación.

Barra (KV)	Voltaje Fase A	Angulo Fase A	Voltaje Fase B	Angulo Fase B	Voltaje Fase C	Angulo Fase C
69	0	0	0.95444	-114.72	0.95267	114.77
13.8	0.26435	-1.04	0.86986	-99.90	0.86933	97.59

**Tabla 3.30** Voltajes para una Falla de una Línea a Tierra en la Barra de 69KV

Barra (KV)	Voltaje Fase A	Angulo Fase A	Voltaje Fase B	Angulo Fase B	Voltaje Fase C	Angulo Fase C
69	0.62369	3.71	0.93924	-109.35	0.90129	110.20
13.8	0	0	0.93661	-110.51	0.89104	109.22

**Tabla 3.31** Voltajes para una Falla de una Línea a Tierra en la Barra de 13.8KV

#### 3.4.4.4 Voltaje de Falla de dos Líneas a Tierra

En la Tabla 3.32 y Tabla 3.33 se muestra el voltaje presente para una Falla de dos Líneas a Tierra en la barra de 69 KV y 13.8 KV respectivamente, este análisis fue efectuado bajo las condiciones de mínima generación.

Barra (KV)	Voltaje Fase A	Angulo Fase A	Voltaje Fase B	Angulo Fase B	Voltaje Fase C	Angulo Fase C
69	0.88776	0.08	0	0	0	0
13.8	0.58754	-1.09	0.2939	178.98	0.29364	178.84

**Tabla 3.32** Voltajes para una Falla de dos Líneas a Tierra en la Barra de 69KV

Barra (KV)	Voltaje Fase A	Angulo Fase A	Voltaje Fase B	Angulo Fase B	Voltaje Fase C	Angulo Fase C
69	0.76927	2.37	0.58366	-126.69	0.60553	133.9
13.8	0.76562	1.58	0	0	0	0

**Tabla 3.33** Voltajes para una Falla de dos Líneas a Tierra en la Barra de 13.8KV

#### 3.4.4.5 Voltaje de Falla de Línea a línea

En la Tabla 3.34 y Tabla 3.35 se muestra el voltaje presente para una Falla de Línea a Línea en la barra de 69 KV y 13.8 KV respectivamente, este análisis fue efectuado bajo las condiciones de mínima generación.

Barra (KV)	Voltaje Fase A	Angulo Fase A	Voltaje Fase B	Angulo Fase B	Voltaje Fase C	Angulo Fase C
69	1.0	0	0.5	-180	0.5	180
13.8	0.99246	-1.16	0.49636	178.88	0.49610	178.8

**Tabla 3.34** Voltajes para una Falla de Línea a Línea en la Barra de 69KV

Barra (KV)	Voltaje Fase A	Angulo Fase A	Voltaje Fase B	Angulo Fase B	Voltaje Fase C	Angulo Fase C
69	1.0	0	0.64816	-135.76	0.70095	139.83
13.8	0.99246	-1.16	0.49623	178.84	0.49623	178.84

**Tabla 3.35** Voltajes para una Falla de Línea a Línea en la Barra de 13.8KV

### 3.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El presente estudios de Corto Circuito del Sistema Eléctrico de la Subestación Playas ha permitido cumplir los siguientes objetivos:

- Determinar el efecto de las corrientes de falla en los componentes del sistema tales como cables, barras y transformadores durante el tiempo que persista la falla.
- Determinar las zonas del sistema en donde la falla puede resultar en depresión inaceptable de voltajes.

El estudio de corto circuito considera los siguientes tipos de falla:

- Falla Trifásica a tierra
- Falla de línea a tierra



- Falla de dos líneas a tierra
  
- Falla de línea a línea

Las corrientes de cortocircuito han sido calculadas considerando los estándares de la IEEE aplicables para el cálculo de falla para voltajes medio y alto. I Standard IEEE Std C37.010-1979, IEEE Std C37.5-1979, IEEE Std 141-1993, IEEE Std 241-1990, and IEEE Std 242-1986.

Las fallas Trifásica a tierra, línea a tierra, línea a línea y dos líneas a tierra fueron aplicadas a cada barra del sistema, los resultados se muestran en el Anexo 3.

De acuerdo al estudio de cortocircuito se obtuvo los siguientes resultados:

- Máxima Carga:
  - La máxima corriente de cortocircuito que circula por las fases se produce cuando existe una falla de línea a tierra en la barra de 13.8 [KV] con un valor de 3677.4 [A] y en la barra de 69 [KV] con un valor de 1455.79 [A].
  
  - La mínima corriente de cortocircuito que circula por las fases se produce cuando existe una falla de línea a línea en la barra de 13.8 [KV] con un valor de 2714.66 [A] y en la barra de 69 [KV] con un valor de 2714.66 [A].

- Mínima Carga

- La máxima corriente de cortocircuito que circula por las fases se produce cuando existe una falla de línea a tierra en la barra de 13.8 [KV] con un valor de 3528.68 [A] y en la barra de 69 [KV] con un valor de 1353.11 [A].
- La mínima corriente de cortocircuito que circula por las fases se produce cuando existe una falla de línea a línea en la barra de 13.8 [KV] con un valor de 2573.1 [A] y en la barra de 69 [KV] con un valor de 1064.38 [A]

El ajuste de los equipos de protección, los cuales son determinados considerando el sistema bajo condiciones de falla, será estudiada en la siguiente parte de este trabajo relacionada con la coordinación de las protecciones.

## **CAPÍTULO 4**

### **PROTECCIÓN DE LA SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN**

La determinación del sistema de protección de una instalación o subestación es fundamental, tanto para garantizar un correcto funcionamiento de tal forma que se minimicen los problemas causados por las condiciones anómalas del servicio o por fallos propios.

Las alimentadoras presentes en la subestación Playas, así como sus distintas ramificaciones disponen de elementos de protección para las anomalías que

pudiesen llegar a presentarse en el sistema, tal es el caso de las sobrecorrientes.

Los elementos utilizados generalmente son los reconectores, seccionadores y fusibles intercalados en la red de distribución con el respectivo funcionamiento de acuerdo a la jerarquía presente en la coordinación. Cabe recalcar que la coordinación debe realizarse empezando desde la carga más alejada hacia la subestación para minimizar la salida de servicio de las cargas ante la presencia de una falla.

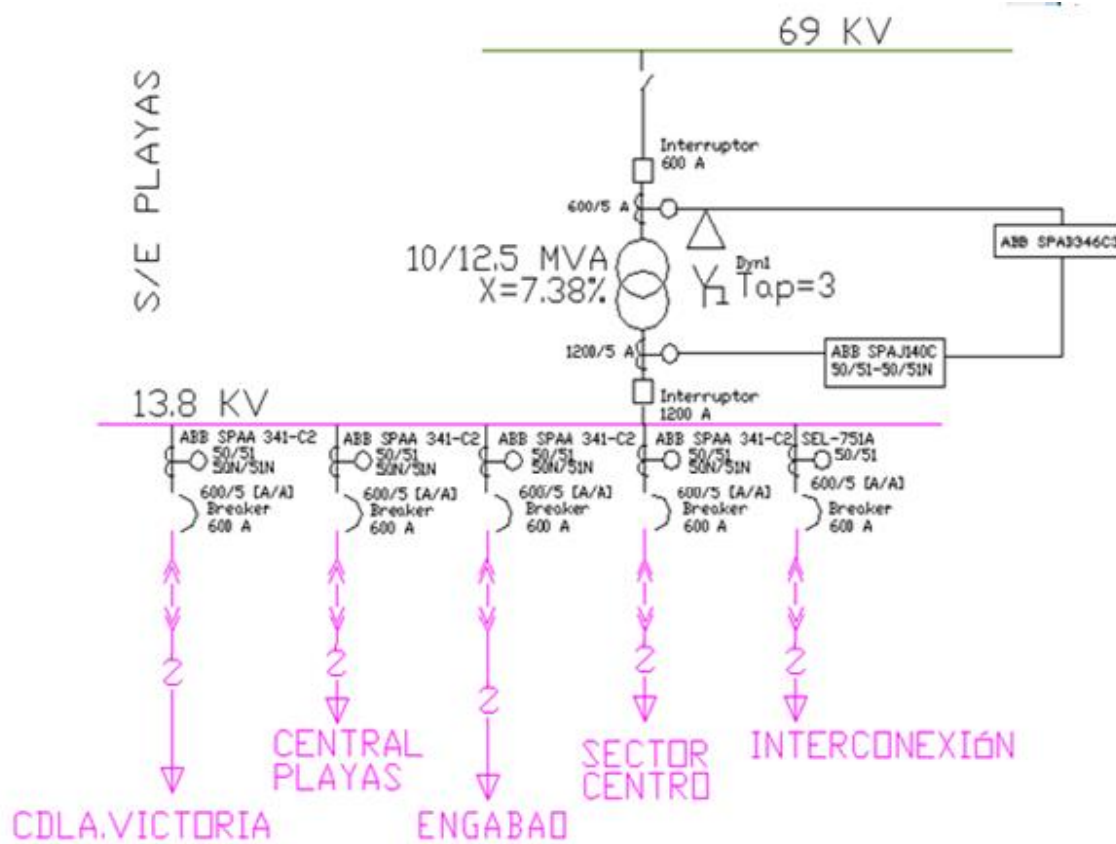
En el marco de este análisis, la coordinación entre los diferentes dispositivos de protección debe:

- Identificar y aislar rápidamente la zona en donde se presentó la falla para evitar quitar el suministro innecesariamente a las zonas no falladas.
- Reducir los daños en las zonas afectadas por la presencia de un fallo.
- Garantizar la continuidad de servicio.

Para realizar la coordinación de protección se utilizara el software CYMTCC 4.5 Rev 13, el cual permite realizar estudios de protecciones contra sobrecorrientes en distintas instalaciones, en nuestro caso distribución eléctrica.

## 4.2 ESQUEMAS DE PROTECCIONES

### 4.2.1 Esquema de Protección de la Subestación de Distribución



**Figura 4.1** Esquema de Protección de la Subestación

La Figura 4.1 muestra el esquema de protección de la subestación Playas, en donde el relé SPAD 346 C3 y el SPAJ 140 C marca ABB se encargan de la protección primaria del transformador y secundaria de la red. Cabe señalar que cada alimentadora posee su relé de protección así como también de su respectivo breaker.

### **4.3 AJUSTE Y COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES**

La información básica requerida para el ajuste y coordinación de las protecciones proviene de los estudios de flujo de carga, cortocircuito y esquemas de protección descritos anteriormente.

#### **4.3.1 Ajuste Transformador de Potencia**

La protección del Transformador de potencia se la realiza utilizando el relé SPAD 346 C3 marca ABB la cual brinda protección diferencial contra fallas internas, protección de fallo de tierra para los devanados del lado de alta tensión y baja tensión del transformador, y protección contra sobrecorriente para cada fase; también se utiliza el relé de sobrecorriente SPAJ 140 C marca ABB que se ha previsto para la protección de cortocircuito y de falla a tierra

##### **4.3.1.1 Protección contra sobrecorriente y falla a tierra, ABB SPAJ 140 C**

El relé combinado de sobrecorriente y falla a tierra está ideado para la protección selectiva contra cortocircuito y fallas a tierra de los alimentadores radiales, en sistemas de potencia puestos rígidamente a tierra, a través de una resistencia o una impedancia. El relé de protección integrado incluye una unidad de sobrecorriente de fase y una de falla a tierra con facilidades de disparo y señalización.

Cuando la corriente de fase excede la corriente de arranque ajustada en el escalón de ajuste inferior de tiempo definido o tiempo inverso, la unidad de sobrecorriente emite una señal de arranque, después del tiempo de arranque preajustado de aproximadamente 60 ms. La unidad de sobrecorriente opera, cuando transcurre el tiempo de operación ajustado con la operación de tiempo definido o el tiempo de operación calculado con la operación de tiempo inverso.

De la misma manera, cuando la corriente de fase excede la corriente de arranque ajustada en el escalón de ajuste superior instantáneo o de tiempo definido, la unidad de sobrecorriente emite una señal de arranque, después del tiempo de arranque preajustado de ~ 40 ms. La unidad de sobrecorriente opera, cuando transcurre el tiempo de operación ajustado.

Cuando la corriente de falla a tierra excede la corriente de arranque ajustada en el escalón de ajuste inferior de tiempo definido o tiempo inverso, la unidad de falla a tierra emite una señal de arranque, después del tiempo de arranque preajustado de aproximadamente 60 ms. La unidad de falla a tierra opera, cuando transcurre el tiempo de operación ajustado con la operación de tiempo definido o el tiempo de operación calculado con la operación de tiempo inverso.

De la misma manera, cuando la corriente de fase excede la corriente de arranque ajustada en el escalón de ajuste superior instantáneo o de tiempo

definido de la unidad de falla a tierra emite una señal de arranque, después del tiempo de arranque preajustado de aproximadamente 40 ms. La unidad de falla a tierra opera, cuando transcurre el tiempo de operación ajustado.

El escalón de ajuste inferior de la unidad de sobrecorriente y el escalón de ajuste inferior de la unidad de falla a tierra pueden tener una característica de tiempo definitivo o tiempo inverso mínimo definido. Cuando se elige la característica de tiempo inverso mínimo definido se dispone de seis curvas tiempo/corriente.

En la Tabla 4.1 se muestra los parámetros de la protección del relé antes mencionado.

<b>UNIDAD DE SOBRECORRIENTE SPCJ 4D29</b>	
<b>Escalón de sobrecorriente de ajuste inferior de tiempo definido o inverso</b>	
<b>Corriente de arranque</b>	
Con característica de tiempo definido	0.5 a 5.0 x I <sub>n</sub>
Con característica de tiempo inverso	0.5 a 2.5 x I <sub>n</sub>
Característica de tiempo/corriente	
Tiempo de operación definido	0.05 a 300 s
Tiempo inverso mínimo definido según IEC 60255-3 y BS 142	Extremadamente inversa



	Muy Inversa Normalmente Inversa Inversa de Tiempo prolongado
Característica inversa (tipo especial)	Inversa tipo RI Inversa tipo RXIDG
Multiplicador de tiempo K	0.05 a 1.0
<b>Escalón de sobrecorriente de ajuste superior instantáneo o de tiempo definido</b>	
Corriente de operación	0.5 a 40 x $I_n$ e infinito
Tiempo de operación	0.04 a 300 s
<b>UNIDAD DE FALLA A TIERRA SPCJ 4D29</b>	
<b>Escalón de falla a tierra de ajuste inferior de tiempo definido o inverso</b>	
Corriente de arranque	0.1 a 0.8 x $I_n$
Característica de tiempo/corriente	
Característica de tiempo definido	0.05 a 300s
Tiempo inverso mínimo definido según IEC 60255-3 y BS 142	Extremadamente inversa Muy Inversa Normalmente Inversa Inversa de Tiempo prolongado
Característica inversa (tipo especial)	Inversa tipo RI Inversa tipo RXIDG
Multiplicador de tiempo $k_0$	0.05 a 1.0

<b>Escalón de falla a tierra de ajuste superior instantáneo o de tiempo definido</b>	
Corriente de operación	0.1 a 10 x In e infinito
Tiempo de operación	0.05 a 300 s

**Tabla 4.1** *Parámetros de protección de Relé ABB SPAJ 140 C*

Se dispone de cuatro curvas Standard llamadas extremadamente inversa, muy inversa, normal inversa e inversa de larga duración. La relación entre la corriente y el tiempo cumple con los Standards BS 142.1966 e IEC 60255-3 y puede expresarse como sigue:

$$t[s] = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I>}\right)^\alpha - 1}$$

Dónde:

t = tiempo de operación en segundos

k = multiplicador de tiempo

I = valor de corriente medida

I> = valor de la corriente de arranque ajustada

Las pendientes de los juegos de curvas de tiempo/corriente se determinan con las constantes como se muestra en la Tabla 4.2:

<b>Pendiente del juego de curvas tiempo/corriente</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\beta</math></b>
Normal Inversa	0.02	0.14
Muy Inversa	1.0	13.5
Extremadamente Inversa	2.0	80.0
Inversa de Larga Duración	1.0	120.0

**Tabla 4.2** Pendientes de curva de sobrecorriente de tiempo inverso

La característica tipo RI es una característica especial utilizada principalmente en combinación con los relés mecánicos existentes. La característica está basada en la siguiente expresión matemática:

$$t[s] = \frac{k}{0.339 - 0.236 \times \frac{I_{>}}{I}}$$

Dónde:

t = tiempo de operación en segundos

k = multiplicador de tiempo

I = corriente de fase medida

I<sub>></sub> = corriente de arranque ajustada

La característica tipo RXIDG es una característica especial utilizada principalmente para la protección de falla a tierra, donde también se necesita un alto grado de selectividad para las fallas de alta resistencia. Con ésta característica, el relé de protección no necesita ser direccional y el esquema puede operar sin comunicación de hilo piloto.

La característica está basada en la siguiente expresión matemática:

$$t[s] = 5.8 - 1.35 \times \ln\left(\frac{I}{k \times I >}\right)$$

Dónde:

t = tiempo de operación en segundos

k = multiplicador de tiempo

I = corriente de fase medida

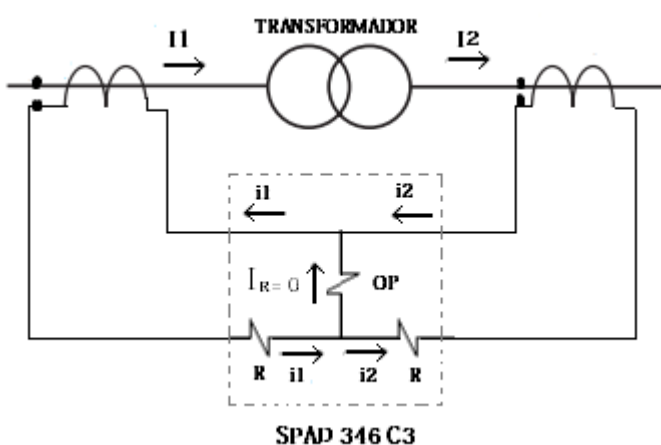
I> = corriente de arranque ajustada

#### **4.3.1.2 Protección Diferencial Estabilizado SPAD 346 C3 (87)**

El relé diferencial SPAD 346 C3 marca ABB está diseñado para la protección de los transformadores de potencia contra fallas internas, además protección de

fallo de tierra para los devanados del lado de alta tensión y baja tensión del transformador, y protección contra sobrecorriente para cada fase.

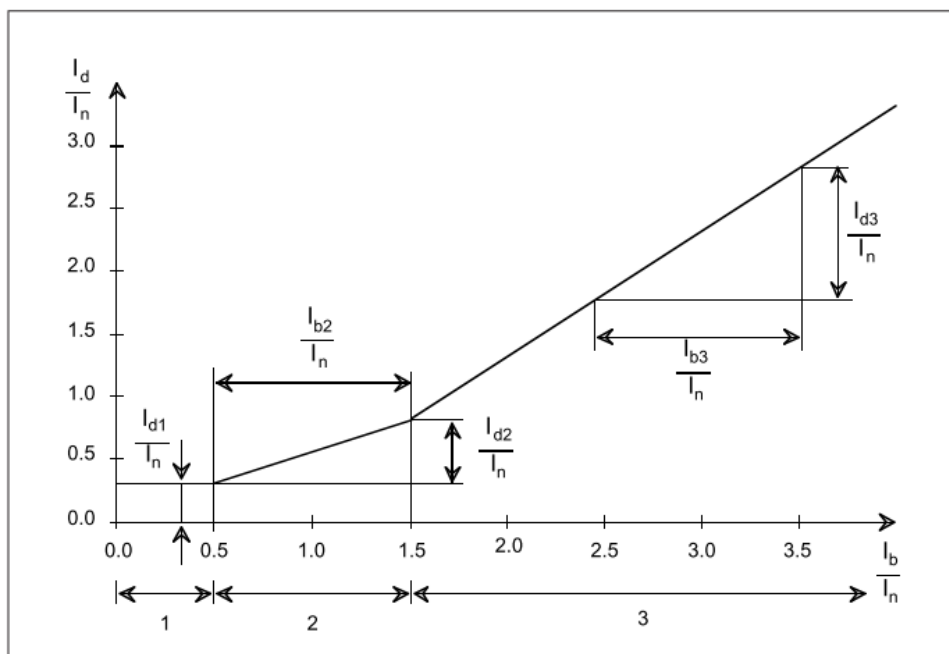
La estabilización impide operaciones no deseadas en fallos fuera del área protegida y en corrientes de avalancha en el transformador.



**Figura 4.2** Protección Diferencial a un Transformador

El principio de funcionamiento se basa en la comparación entre la intensidad de la entrada y la de salida, en una zona comprendida entre dos transformadores de corriente (TC's), de tal forma que, si la intensidad que entra en la zona protegida no es la misma que la que sale significará que existe una fuga de corriente y por ende algún defecto que provocará la circulación de una determinada corriente por el relé provocando el funcionamiento del mismo.

Ocurre lo contrario cuando la corriente que entra es igual a la que sale, ya que al no circular corriente por el relé, este no actuará.



**Figura 4.3** Característica de operación de la fase de corriente diferencial

Cuando la corriente diferencial supera el valor de ajuste de la característica de operación, el relé proporciona una señal de maniobra a no ser que el módulo de relé bloquee internamente la función de desconexión y no está bloqueada o por una señal de bloqueo exterior, o por una señal de bloqueo interior. La amplitud de la corriente diferencial  $I_d$  se la obtiene de la siguiente forma:

$$I_d = |I_1 - I_2|$$

En una situación normal, no hay fallos en la zona protegida por el relé diferencial. En este caso, las corrientes  $I_1$  e  $I_2$  son iguales y la corriente diferencial  $I_d=0$ . En la práctica, sin embargo la corriente diferencial se desvía de cero en situaciones normales.

En la protección del transformador de potencia, la corriente diferencial suele estar causada por las inexactitudes del CT, las variaciones de la posición del TAP y las corrientes de avalancha instantáneas en el transformador. Los aumentos de la corriente de carga que producen la corriente diferencial causados por las inexactitudes del CT, hacen crecer la posición del variador de transformación al mismo nivel de porcentaje.

En un relé diferencial, la corriente diferencial requerida para la desconexión es más alta que la corriente de carga. La corriente de estabilización  $I_b$  del relé se la obtiene de la siguiente forma:

$$I_b = \frac{|I_1 - I_2|}{2}$$

En la sección 1 de la Figura 4.3, la corriente diferencial requerida para la desconexión es constante. El valor de la corriente diferencial es el mismo que el ajuste básico seleccionado para el modulo del relé.

En la sección 2, se la denomina área de influencia de la relación de arranque. En esta parte, las variaciones de la relación de arranque afectan a la característica de la pendiente, es decir, se requiere un gran cambio en la corriente diferencial, en comparación con el cambio de la corriente de carga, para la desconexión. La relación de arranque debe tener en cuenta los errores en el CT y las variaciones del TAP. Con altas corrientes de estabilización, la característica de la pendiente es constante en la sección 3. La pendiente posee un valor de 100%, lo que significa que el aumento de la corriente diferencia es igual al aumento corresponde de la corriente de estabilización.

#### **4.3.1.3 Características de los CT's**

Es el dispositivo primario encargado de reducir los niveles de corrientes del sistema de potencia a niveles tolerables por los dispositivos de protección y medición.

Los CT's de protección no deben saturarse debido a que puede dar mediciones no deseadas o valores erróneos. La saturación de un CT's puede depender de la cantidad de carga conectada al mismo.



#### 4.3.1.3.1 Máximas corrientes de carga

Para determinar de manera correcta a los CT's, se debe calcular las máximas corrientes de carga considerando la potencia máxima con el respectivo nivel de voltaje presente en alta y baja tensión del transformador de potencia de la Subestación:

$$I_H = \frac{KVA (FA)}{\sqrt{3}KV_L} = \frac{12500 KVA}{\sqrt{3} 69KV} = 104.59 A$$

$$I_L = \frac{KVA (FA)}{\sqrt{3}KV_L} = \frac{12500 KVA}{\sqrt{3} 13.8 KV} = 522.96 A$$

Según la norma C37.110-1998 ANSI/IEEE Standard, el CT debe elegirse de tal manera que la corriente en el secundario no exceda 20 veces la corriente nominal bajo las condiciones de máxima falla simétrica en el primario.

El peor escenario de falla es que ocurra justamente en la ubicación del CT, lo cual es muy poco probable, por lo tanto se considerara como máxima corriente de falla las obtenidas en el Capítulo 3.

- En el lado de alta tensión (69KV), la falla máxima corresponde a la Falla de Línea a Tierra con un valor de 1455.79A.

- En el lado de baja tensión (13.8KV), la falla máxima corresponde a la Falla de Línea a Tierra con un valor de 3677.4 A.

Según la norma C57. 13-1993 ANSI /IEEE Standard, "Requirements For Instrument Transformers, el transformador de corriente se escoge de manera que, es necesario aproximar la corriente en el secundario cercana a 5 A con corriente de carga máxima, manteniendo la corriente de falla pasante menor a 100 A en el secundario para evitar que se produzca una diferencia de potencial tan grande que sature al TC's. Por otra parte las normas IEC establece los rangos de selección de los TC's, tanto para protección como para medición; para cuando se utiliza como protección el rango es 600 a 2500 de corriente nominal en el primario del TC's.

Considerando lo anteriormente mencionado se escoge un transformador de corriente de 600:5 para el lado de alta tensión y uno de 1200:5 para el lado de baja tensión del transformador principal de potencia.

$$I_{HFalla} = 1455.79 * \frac{5}{600} = 12.13 A < 100A$$

$$I_{LFalla} = 3677.4 * \frac{5}{1200} = 15.32 A < 100A$$

#### 4.3.1.3.2 Corrientes máximas de carga en secundarios de CT's

Las corrientes nominales de carga en el secundario de los CT's son las descritas a continuación:

$$I_{HS} = 104.59A * \frac{5}{600} = 0.8716 A$$

$$I_{LS} = 522.969A * \frac{5}{1200} = 2.179 A$$

#### 4.3.1.3.3 Porcentaje de error intrínseco Mismatch

Este porcentaje otorga un margen de seguridad para los errores de rendimiento de los CT's. Para determinar este porcentaje es necesario determinar las corrientes de restricción usadas en el relé luego de la compensación de fase programada.

El factor de compensación depende de la conexión de los CT's y esta conexión a su vez depende de la conexión del Transformador de potencia; lo anterior descrito se muestra en la Tabla 4.3.

Conexión de Transformador		Conexión de TC		Factor Multiplicador de compensación interna		Factor Multiplicador de compensación externa	
HS	LS	HS	LS	HS	LS	HS	LS
Delta	Estrella	Estrella	Delta	1	1	1	$\sqrt{3}$

**Tabla 4.3** Factor multiplicativo de compensación

Las corrientes de restricción usadas en el relé SPAD 346 C3, son descritas a continuación:

$$I_{Hr} = I_{Hs} * fac = 0.8716 * 1 = 0.8716 A$$

$$I_{Lr} = I_{Ls} * fac = 2.179 * \sqrt{3} = 3.7741 A$$

Con estos valores se debe escoger los ajustes del TAP del lado de alta y baja que poseen pasos de 0,1 A por lo que se tomaron los valores de Th=2 A y Tl=9 A.

El porcentaje de error intrínseco de la selección del TAP para la corriente nominal se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$M = \frac{100 \left( \frac{I_{Hr}}{I_{Lr}} - \frac{TAP_H}{TAP_L} \right)}{\frac{TAP_H}{TAP_L}} = \frac{100 \left( \frac{0.8716}{3.7741} - \frac{2}{9} \right)}{\frac{2}{9}} = 4.8\%$$

#### **4.3.1.3.4 Porcentaje por error de los CT's**

El porcentaje escogido de acuerdo a la norma IEC 60044 para protección diferencial es del 5%.

#### **4.3.1.3.5 Porcentaje de regulación de voltaje TAP**

Al presentarse el transformador de potencia con cambiador de TAP cualquier sistema de protección diferencial debe ser capaz de mantenerse trabajando sin verse afectada, cuando se presentan variaciones de dicho tap. El porcentaje que otorga la norma IEC60044 es de 10%.

#### **4.3.1.3.6 Porcentaje de Restricción de Armónicas por la corriente de magnetización (INRUSH)**

Esta restricción brinda al relé la capacidad de diferenciar entre corrientes de magnetización y de cortocircuito, y así evitar operaciones incorrectas; lo que se denomina restricción por armónicos.

Tanto la corriente de magnetización como la de cortocircuito presentan valores de gran magnitud, pero la corriente de cortocircuito presenta variaciones en su forma de onda por la presencia de armónicos. Al presentarse una falla interna, el relé detecta la falla por la presencia de los armónicos.

La norma ANSI C57.110 establece un valor de 10%.

#### 4.3.1.3.7 Porcentajes de Restricción

En la Tabla 4.4 se muestra los valores de porcentajes requeridos para la selección de la pendiente de la curva de disparo del relé diferencial.

ERROR	PORCENTAJE (%)	NORMA
CT's	5	IEC 60044
Cambiador de TAPS	10	IEC 60044
Corriente Inrush del Transformador	10	ANSI C57.110
Mismatch	4.8	BLACKBURN
Total		29.8%

**Tabla 4.4** Porcentajes de Restricción

Cabe señalar que la norma C37.91-2008 ANSI /IEEE Standard recomienda dejar un margen sobre el valor calculado, por lo cual la pendiente tiene un valor de 30%.

#### 4.3.2 Relé de Frecuencia, SPAF 340 C3

El relé SPAF 340 C3 se encarga directamente para la desconexión automática de carga cuando ésta excede la capacidad máxima de soporte de la subestación. Dispone de cuatro escalones de protección, cada uno de los cuales puede emplearse tanto para protección de sobrefrecuencia o de subfrecuencia.

Cada escalón de protección incluye una función de variación de frecuencia ( $df/dt$ ), que puede ser usada de forma individual o en combinación con la función de sobrefrecuencia y subfrecuencia.

Cada escalón de protección está provisto de dos temporizadores ajustables, función de restablecimiento, frecuencia nominal y bloqueo por subtensión programables.

Cuando el límite de frecuencia de una etapa está por debajo de la frecuencia nominal, el escalón de protección opera como una etapa de subfrecuencia.

Cuando el nivel de frecuencia es superior a la frecuencia nominal establecida, la etapa tiene la función de sobrefrecuencia.

La operación de la función  $df/dt$  de una etapa de protección está basada en que si uno de los escalones de protección opera como subfrecuencia, la señal de la función  $df/dt$  es negativa y ocurre lo mismo si hay sobrefrecuencia, en este caso sería positivo.

En la Tabla 4.5 se muestran los ajustes que se pueden hacer a este relé.

<b>RELÉ ABB SPAF 340 C3</b>		
<b>Ajuste</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rango de Ajustes</b>
fn	Frecuencia Nominal	30 a 65 [Hz]
	Numero de ciclos usados en la medición de	3 a 20

	frecuencia	
$U</U_n$	Valor de ajuste de bloqueo de subtensión como múltiplo de voltaje nominal $U_n$ usado	0.30 a 0.90 x $U_n$
f1	Valor de ajuste y tiempos de operación del escalón 1	25 a 70 [Hz]
t1	Tiempo de operación	0.1 a 300 [s]
t'1	Tiempo de operación	0.1 a 300 [s]
f2	Valor de ajuste y tiempos de operación del escalón 2	25 a 70 [Hz]
t2	Tiempo de operación	0.1 a 300 [s]
t'2	Tiempo de operación	0.1 a 300 [s]
f3	Valor de ajuste y tiempos de operación del escalón 3	25 a 70 [Hz]
t3	Tiempo de operación	0.1 a 300 [s]
t'3	Tiempo de operación	0.1 a 300 [s]
f4	Valor de ajuste y tiempos de operación del escalón 4	25 a 70 [Hz]
t4	Tiempo de operación	0.1 a 300 [s]
t'4	Tiempo de operación	0.1 a 300 [s]
ldf/dt	Valores de ajuste de df/dt para los cuatro escalones	0.2 a $\pm 10$ [Hz/s]
fr	Valor de ajuste de operación de la función de restablecimiento	0.1 a 10 [Hz]
tr	Tiempo de operación de la función de restablecimiento	10 min

**Tabla 4.5** Ajuste del relé de frecuencia SPAF 340 C3



### **4.3.3 Relé de Protección de alimentador ABB SPAA 341 C2**

Las alimentadoras Ciudadela Victoria, Engabao, Sector Centro y Central Playas se encuentran protegidos por el RELE ABB SPAA 341 C2, el cual actúa en el momento que exista algún tipo de falla en la parte de la troncal de las alimentadoras.

El relé de protección de alimentador SPAA 341 C2 se utiliza para la protección de las redes con neutro aislado radiales o con resistencias y / o redes conectadas a tierra. El relé de alimentadora proporciona protección de sobreintensidad, protección contra cortocircuitos, protección de falla a tierra y protección de discontinuidad de fase. El relé de protección de alimentador también incorpora un módulo de reconectador multidisparo flexible trifásico para los interruptores. La fiabilidad y disponibilidad del sistema se ve reforzada por una función incorporada del interruptor de protección contra fallo, un monitor de condición del interruptor y un hardware y un software sofisticado como sistema de auto-supervisión. La unidad de sobrecorriente trifásica comprende tres etapas de sobrecorriente, es decir, un ajuste de bajo escalón  $I >$ , una etapa de ajuste alto  $I >>$  y una etapa de ajuste súper alta  $I >>>$ .

La etapa de ajuste bajo puede ser determinada con la característica de tiempo definido o inverso, mientras que la etapa de ajuste alto y la etapa de súper alta tienen una característica de tiempo definido.

En la Tabla 4.6 se muestra los rangos de ajuste del relé ABB SPAA 341 C2.

<b>RELÉ ABB SPAA 341 C2</b>				
Características		Etapa I>	Etapa I>>	Etapa I>>>
Corriente de Arranque	Tiempo definido	0.5 a 5 x I <sub>n</sub>	0.5 a 40 x I <sub>n</sub>	0.5 a 40 x I <sub>n</sub>
	Tiempo inverso	0.5 a 2.5 x I <sub>n</sub>	–	–
Corriente de Arranque, típica		70 ms	40 ms	40 ms
Tiempo de operación de característica de tiempo definido		0.05 a 300 s	0.04 a 300 s	0.04 a 30 s
Característica de tiempo/corriente de modo tiempo inverso		Extremadamente inversa Muy Inversa Inversa Normal Tiempo Inversa Larga Tipo RI Inversa Tipo RXIDG inversa	–	–
Multiplicador de tiempo K		0.05 a 1	–	–
Tiempo de Reinicio, típica		40 ms	40 ms	40 ms
Tiempo de Retardo		< 30 ms		
Relación de reinicio, típica		0.96		
Precisión de tiempo de operación		±2% de valor de ajuste o ± 25 ms		

en modo tiempo definido			
Precisión de operación	± 3% de valor de ajuste	± 3% de valor de ajuste	± 3% de valor de ajuste
<b>Módulo SPCJ 4D28, Protección de falla a tierra y unidad de discontinuidad de fase</b>			
Características	Etapa $I_0 >$	Etapa $I_0 >>$	Etapa $I_0 >>>$
Corriente de arranque	$0.1 - 0.8 \times I_n$	$0.1 - 10.0 \times I_n$	10-100% y $\infty$
Tiempo de inicio	70ms	50ms	150ms
Característica de tiempo de operación a tiempo definido	0.05-300s	0.05-300s	1-300s
Característica de tiempo/corriente de modo tiempo inverso	Extremadamente inversa Muy Inversa Inversa Normal Tiempo Inversa Larga Tipo RI Inversa Tipo RXIDG inversa	-	-
Multiplicador de tiempo K	0.05-1.0	-	-
Tiempo de Reinicio, típica	40ms	40ms	80ms
Tiempo de Retardo	<30ms	<30ms	-
Relación de reinicio, típica	0.96	0.96	0.90
Precisión de tiempo de operación en modo tiempo definido	±2% de valor de ajuste o ± 25 ms		
Índice de clase de precisión E en modo de tiempo inverso	5	-	-

Precisión de operación	$\pm 3\%$ de valor de ajuste	$\pm 3\%$ de valor de ajuste	$\pm 1$ unidad $\pm 3\%$ de valor de ajuste
------------------------	------------------------------	------------------------------	---

**Tabla 4.6** Rangos de ajuste del relé ABB SPAA 341 C2

#### 4.3.4 Relé de Protección de alimentador SEL 751A

La alimentadora Interconexión, de la subestación se encuentra protegido por el relé de protección de alimentador 751A marca SEL, el cual brinda protección contra sobrecorriente, sobre voltaje, bajo voltaje y frecuencia.

Además este relé nos brinda amplias opciones de protección y control como:

- Elementos de sobrecorriente en las fases, neutro, residual y secuencia negativa (50P/50N/50G/50Q).
- Corrientes y voltajes producidas por alta y baja frecuencia
- Alta y baja frecuencia (81).
- Fallo del disyuntor o contacto.
- Control de reconexión automático
- Detección de arco eléctrico (50PAF)
- Sobre y bajo voltaje (59, 59G, 59Q, 27)
- Elementos de alimentación
- Factor de Potencia
- Taza de cambio de frecuencia (81R)

- Perdida de una fase (60)
- Verificación de sincronismo (25)
- Medición de sobrecorriente residual (50G/51G).

En la Tabla 4.7 se muestra el ajuste del relé de sobrecorriente de la alimentadora interconexión.

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	
<b>SOBRE CORRIENTE INSTANTÁNEA/ TIEMPO DEFINIDO (50 P, 50G, 50N, 50Q)</b>	
Rango de Ajuste Pick up	
5A	0,5 - 100 A, pasos de 0,01 A
1A	0,1-20 A, pasos de 0,01 A
50mA	5-100mA, pasos de 0,1 mA
Precisión	5% de ajuste $\pm$ 0,02+ In secundario
Tiempo de retardo	0,00-5,00s, pasos de 0,01 s
Tiempo de puesta en trabajo/reposición	1,5 ciclos
<b>Arc-Flash Sobre corriente instantáneo</b>	
Rango de Ajuste Pick up	
5A	0,50 - 100.00 A, pasos de 0,01 A
1A	0,10-20.00 A, pasos de 0,01 A
Precisión	0 a +10% de ajuste $\pm$ 0.02+ In secundario

Tiempo de puesta en trabajo/reposición	2-5 ms/l ciclos
<b>Sobre corriente tiempo inverso (51P, 51G, 51N, 51Q)</b>	
Rango de Ajuste Pick up	
5A	0,50– 16.00A, pasos de 0,01 A
1A	0,10-3.20 A, pasos de 0,01 A
50m	5-160.0 mA, pasos de 0,1 mA
2.5mA	0.13-2.00 mA, pasos de 0.01 mA
Precisión	5% de ajuste $\pm$ 0,02+ In secundario
Tiempo de retardo	
U.S.	0.50-15.00 ,pasos de 0.01s
IEC	0.05-1.00, pasos de 0.01s

**Tabla 4.7 Ajuste del relé SEL 741A**

#### **4.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

La determinación del sistema de protección de una instalación o subestación es fundamental, tanto para garantizar un correcto funcionamiento de tal forma que se minimicen los problemas causados por las condiciones anómalas del servicio o por fallos propios.

El relé diferencial SPAD 346 C3, está diseñado para la protección de los transformadores de potencia contra fallas internas, protección de fallas a tierra para los devanados de alta y baja tensión del transformador.

En el lado de alta tensión del transformador con presencia de máxima carga se tiene una corriente de 104.59 A, debido a esto el transformador de corriente con una relación de 600:5. En el caso del lado de baja tensión del transformador se presenta una corriente de 522.96A, por lo cual el transformador de corriente es de una relación de 1200:5.

El relé de baja y sobre frecuencia SPAF 340 C3 se encarga directamente de la desconexión automática de carga cuando la frecuencia del sistema baja y de esta forma nivelar la frecuencia a su valor nominal

## **CAPÍTULO 5**

### **COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES**

#### **5.1 INTRODUCCIÓN**

Un sistema de protección adecuadamente coordinado es vital para asegurar que el sistema eléctrico de potencia opere dentro de los requerimientos y parámetros establecidos. La operación automática de los dispositivos de protección, permite aislar las fallas en el menor tiempo posible para poder minimizar los daños.

La coordinación de las protecciones se debe realizar empezando desde la carga más lejana hacia la subestación, para poder garantizar los criterios de



selectividad, sensibilidad y rapidez de operación manteniendo la continuidad en la operación del sistema.

Para realizar la coordinación de la Subestación Playas, se utilizara la herramienta computacional CYMTCC 4.5 Rev 13, quien posee una gran gama de elementos de protección.

## **5.2 CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN**

### **5.2.1 Sensibilidad**

La protección debe saber distinguir inequívocamente las situaciones de falla de aquellas que no lo son, para lo cual es necesario:

- Establecer para cada tipo de protección las magnitudes mínimas necesarias que permiten distinguir situaciones de falla de las situaciones normales de operación.
- Establecer para cada una de las magnitudes necesarias, las condiciones límite que separan situaciones de falla de las situaciones normales de operación.

### **5.2.2 Selectividad**

Es la capacidad que debe tener la protección para, una vez detectada la existencia de una falla, discernir si la misma se ha producido dentro o fuera de

su área de vigilancia y, en consecuencia, dar orden de disparar los interruptores automáticos para despejar la falla.

Si la falla se ha producido dentro del área, la protección debe operar para aislar el circuito en falla. Si, por el contrario, la falla se ha producido fuera del área, la protección debe dejar que las demás protecciones actúen para despejarlas, ya que su actuación dejaría fuera de servicio a un gran número de circuitos que el estrictamente necesario para el despeje de dicha falla.

### **5.2.3 Rapidez**

Al ser detectada la falla, esta debe ser despejada en el menor tiempo posible, inmediatamente. Cuanto menor sea el tiempo que toma despejar la falla, menor serán los efectos y daños en los equipos.

- **Protecciones instantáneas**

Son aquellas que actúan tan rápido como es posible debido a que la falla se ha producido dentro del área que vigilan directamente.

- **Protecciones de tiempo diferido o con retardo en tiempo**

Son aquellas en las que de manera intencionada se introduce un tiempo de espera que retrasa su operación. Este retardo facilita la coordinación entre protecciones con el objeto de que actúen solamente aquellas que permitan aislar la falla.

#### **5.2.4 Fiabilidad**

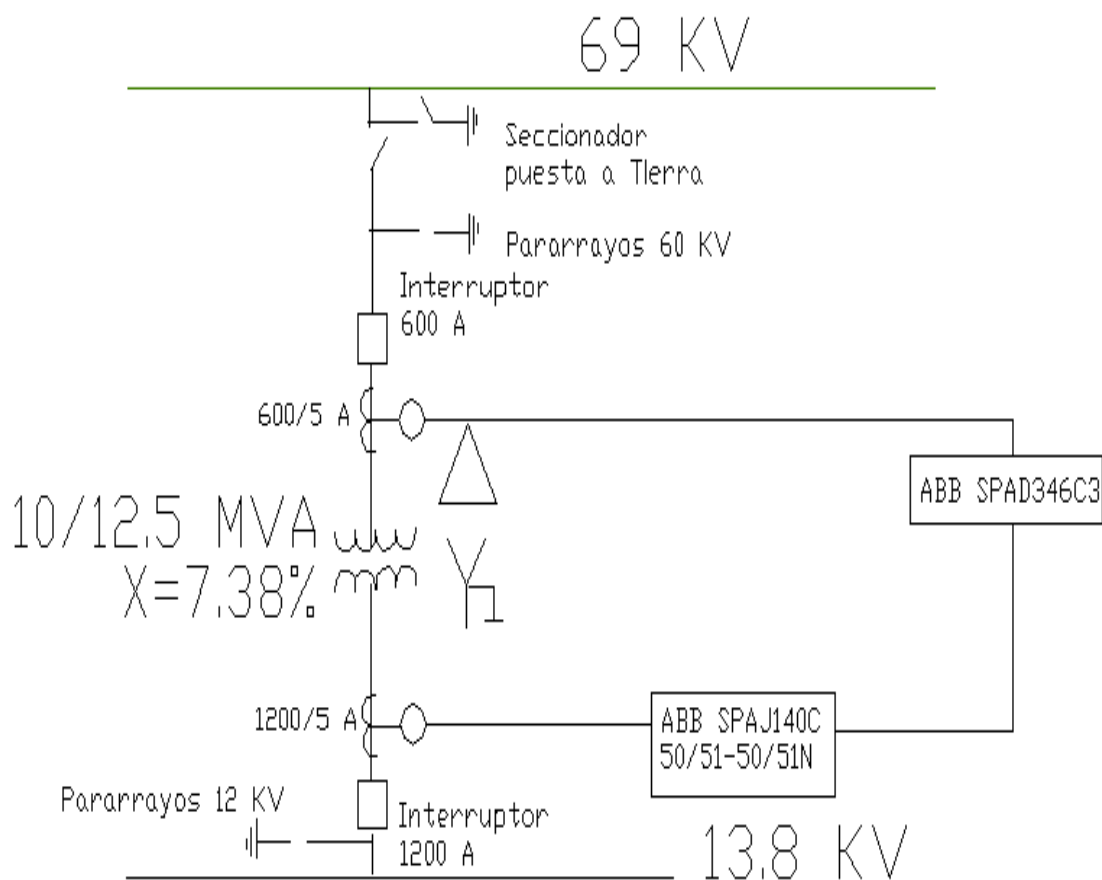
Una protección es fiable cuando opera siempre de manera correcta, lo que significa que la protección debe operar con seguridad y efectividad ante cualquier situación. Seguridad significa que no deben producirse situaciones innecesarias ni omitirse situaciones necesarias.

#### **5.2.5 Economía y simplicidad**

La valoración económica no debe restringirse solamente al equipo al cual se está protegiendo, sino que debe tener en cuenta las consecuencias que implicaría que el fallo.

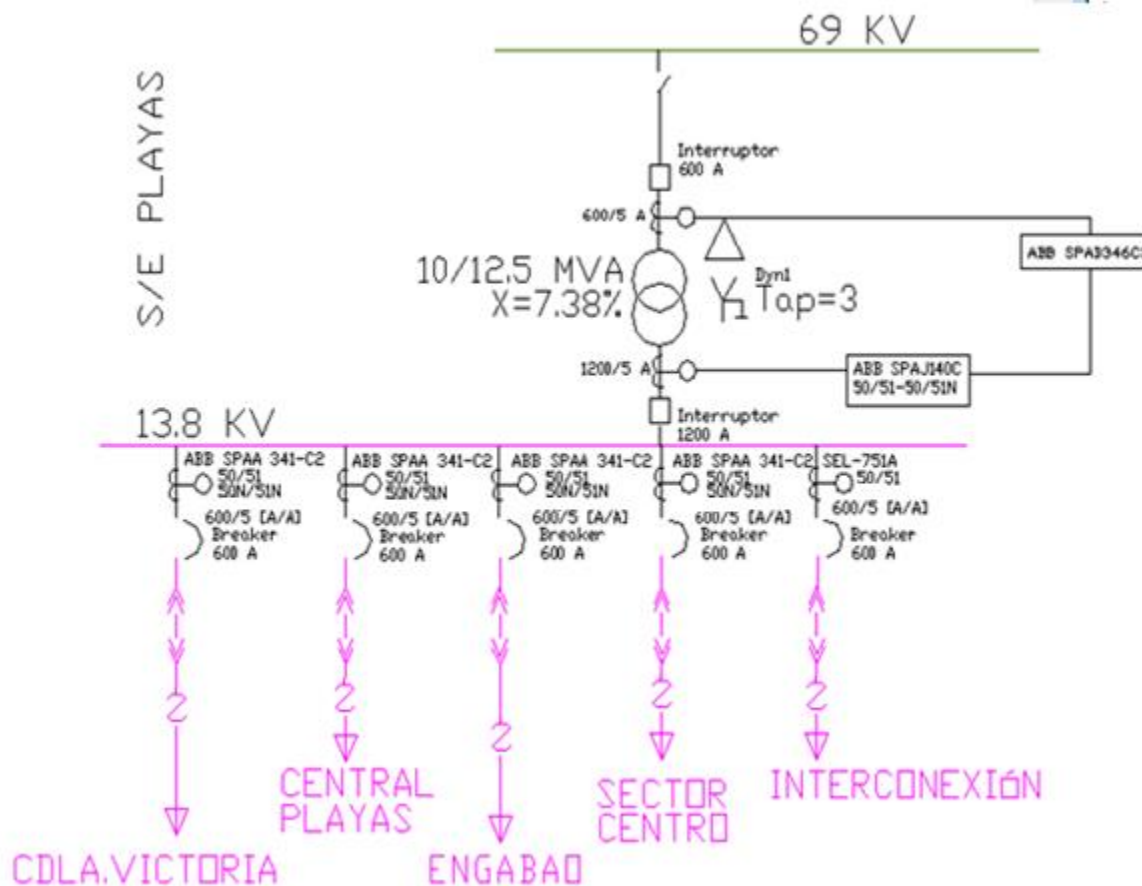
### **5.3 ESQUEMA DE PROTECCIONES**

En la Figura 5.1 se muestra el esquema de protecciones del Transformador de potencia de la Subestación Playas.



**Figura 5.1** Esquema de protecciones del Transformador de Potencia

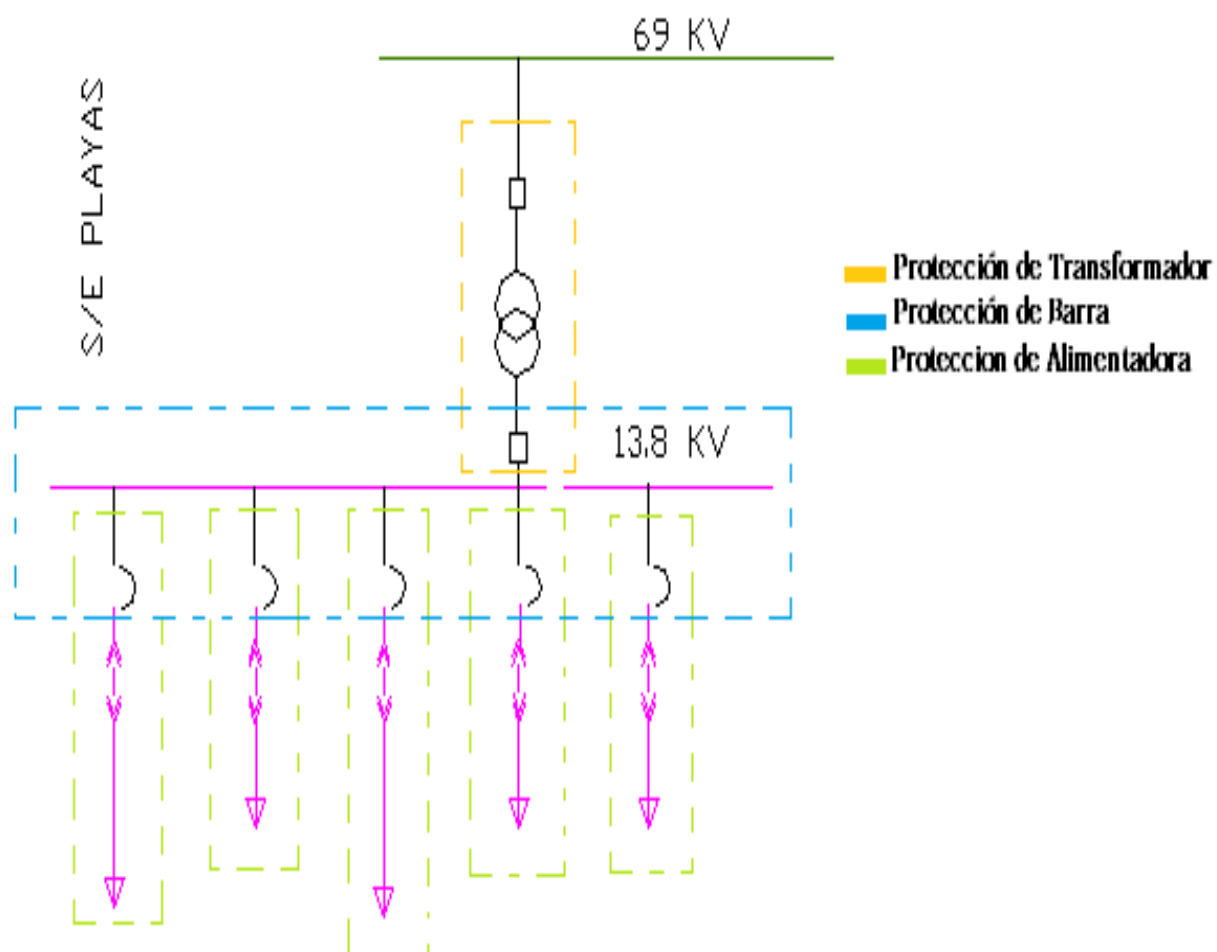
En la Figura 5.2 se muestra el esquema de protecciones de la red de distribución de la Subestación Playas.



**Figura 5.2** Esquema de protecciones \_ Redes de distribución Subestación Playas

#### 5.4 CRITERIO DE ÁREAS DE PROTECCIÓN

Las protecciones primarias son aquellas que tienen el objetivo de despejar la falla en el menor tiempo posible. Están definidas para desconectar el mínimo número de elementos necesarios para aislar la falla.



**Figura 5.3** Áreas de Protección

El sistema de protección eléctrica se divide en zonas primarias definidas en torno a cada elemento importante, tal como se muestra en la Figura 5.3. Cada zona de traslapa con sus adyacentes con el fin de evitar que se produzcan zonas no cubiertas por las protecciones primarias. Cuando se produce una falla

en el interior de una de las zonas de protección primarias deben disparar los elementos correspondientes a dicha sección, exclusivamente estos deben operar para despejar la falla.

Es importante recordar que las protecciones de respaldo son aquellas que tienen la función de despejar la falla cuando falla las protecciones primarias. Por esta razón es muy importante independizar el funcionamiento de la protección principal y de respaldo, de tal forma que la al actual la protección primaria bloquee la protección de respaldo

## **5.5 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN**

### **5.5.1 Criterios para la selección de fusibles**

Los fusibles tipo K se encuentran en la Subestación Playas, estos dispositivos cumplen con las normas ANSI C37.42 que especifica los estándares de fabricación para fusibles de distribución de alta tensión (sobre 600 volts), para ser utilizados en ambiente cerrado y abierto. Además indica que el fusible debe ser capaz de soportar una tensión mecánica de 10 libras (4,5 Kg.) sin sufrir daño en ninguna parte. Para seleccionar un fusible se debe considerar la corriente de carga, voltaje del sistema, tipo del sistema y máxima corriente de falla del lugar donde estén destinadas su ubicación.

Para tener un correcto funcionamiento de este equipo de protección: La corriente nominal de un fusible debe ser igual o mayor que la máxima corriente de carga, para lo cual se considera las corrientes normales y las posibles corriente de sobrecargas que pudieran llegar a presentarse. En el caso del voltaje, debe ser mayor o igual al máximo voltaje presente en la línea.

Los fusibles clase K soportan una corriente de 1.5 veces la corriente nominal, lo cual se muestra en la Tabla 5.1.

Nominación K	Corriente Continua (A)	Nominación K	Corriente Continua (A)
6	9	40	60
8	12	50	75
10	15	65	95
12	18	80	120
15	23	100	150
20	30	140	190
25	38	200	200
30	45		

**Tabla 5.1** Máxima corriente continua en Tira Fusible Tipo K



Para determinar la corriente de carga del circuito, se consideró la carga máxima posible ante la presencia de una transferencia de carga, lo cual se puede presentar ante la falla o desconexión de una de las alimentadoras.

En el caso anteriormente descrito, las alimentadoras Cdla. Victoria y Sector Centro conjuntamente tienen una carga de 3334.46 KVA a un nivel de voltaje de 13800V.

$$I_a = \frac{\frac{s}{\sqrt{3}V}}{1.50}$$

$$I_a = \frac{139.50}{1.50} = 93A$$

Debido a que el valor de la corriente continua es 93A, el fusible determinado para cada alimentadora de la Subestación Playas es de nominación 100K. Es importante señalar que para todas las alimentadoras se escoge el mismo tipo de fusible, debido a que la carga presente en cada una de ellas es de valores casi similares.

En la Figura 5.4, se muestra la curva característica del relé tipo 100K.

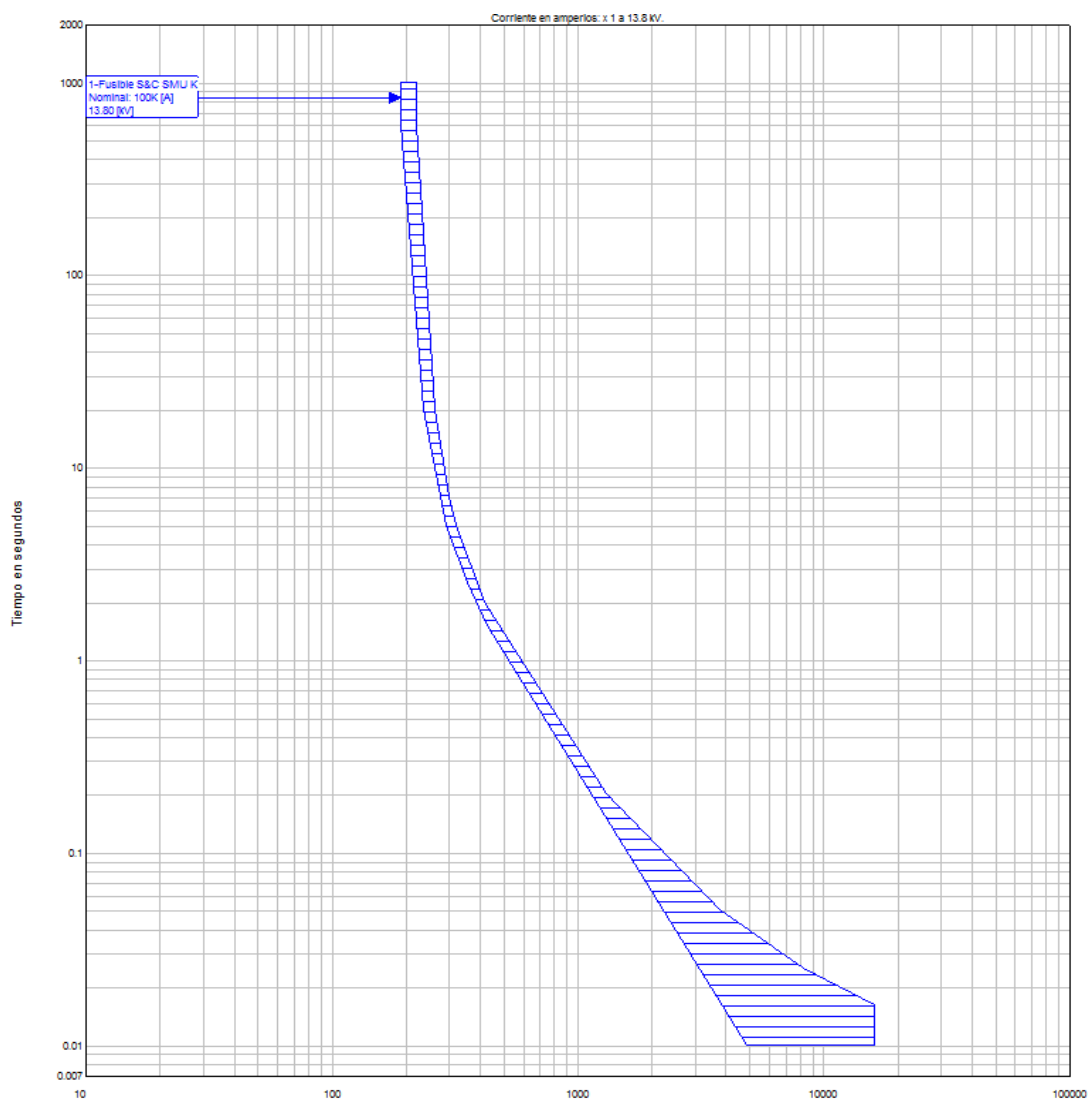
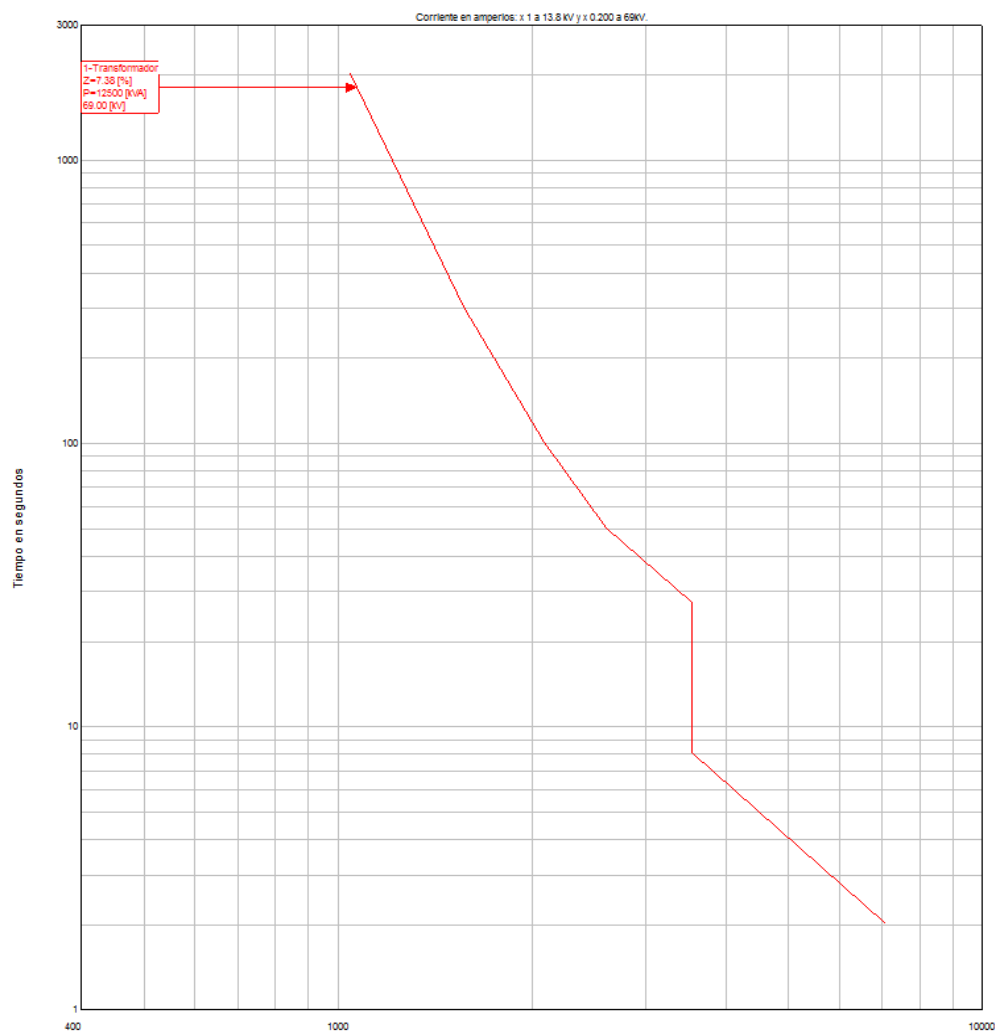


Figura 5.4 Curva característica del Fusible tipo 100K

## 5.5.2 Protección del transformador

### 5.5.2.1 Curva de Daño del transformador

En la Figura 5.5 se muestra la curva de daño del transformador de potencia de la subestación Playas que tiene un Z de 7.38%, Potencia nominal de 12500 KVA y Voltaje primario de 69 KV.



**Figura 5.5** Curva de daño del transformador

### 5.5.3 Ajuste de la Protección diferencial

La coordinación del relé diferencial SPAD 346 C3 marca ABB se lo realizo en el Capítulo 4, en la Tabla 5.2 se muestra el resumen de la corriente calculadas para determinar el error intrínseco de la pendiente de la curva del relé diferencial.

<b>Corrientes</b>	<b>Lado de Alta</b>	<b>Lado de Baja</b>
Corriente Máxima de carga	104.59 A	522.96 A
CT	600/5	1200/5
Corriente Máxima carga secundario	0.8716 A	2.179 A
Corriente del Relé	0.8716 A	3.7741 A

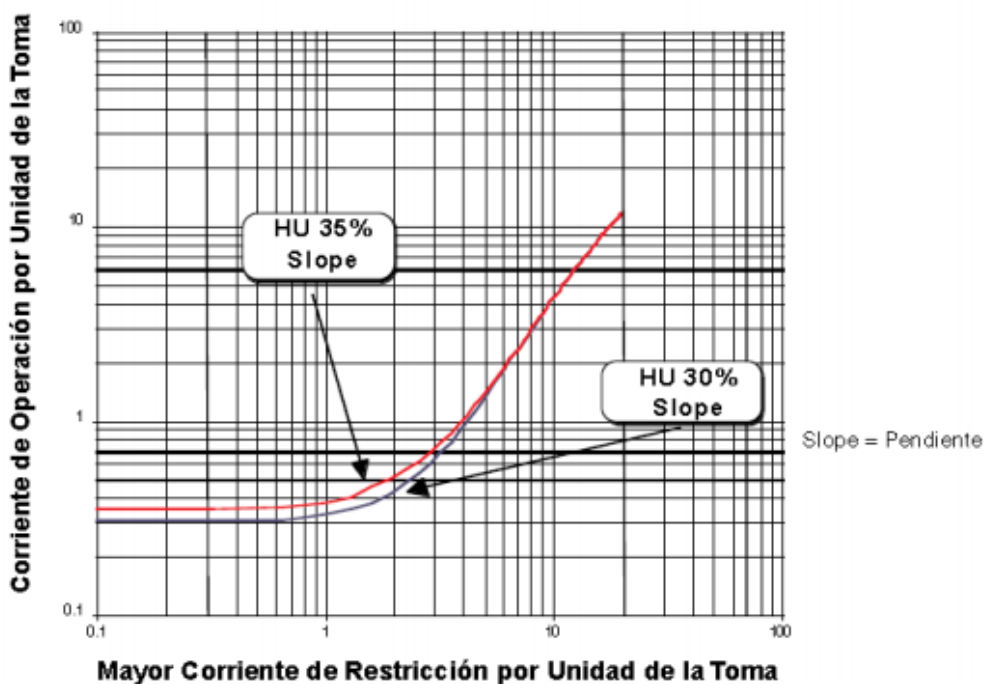
**Tabla 5.2** Corrientes utilizadas para determinar el Mismatch de la curva del relé diferencial

En la Tabla 5.3, se aprecia el Porcentaje de Restricción de Armónicas por la corriente de magnetización (INRUSH) del relé diferencial SPAD 346 C3.

<b>ERROR</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>	<b>NORMA</b>
CT's	5	IEC 60044
Cambiador de TAPS	10	IEC 60044
Corriente Inrush del Transformador	10	ANSI C57.110
Mismatch	4.8	BLACKBURN
Total		29.8%

**Tabla 5.3** Porcentajes de Restricción

Cabe señalar que la norma C37.91-2008 ANSI /IEEE Standard recomienda dejar un margen sobre el valor calculado, por lo cual la pendiente tiene un valor de 30%.



*Figura 5.6 Curva diferencial de porcentaje*

#### 5.5.4 Ajustes del relé SPAJ 140 C3

##### 5.5.4.1 Ajuste de la protección de sobrecorriente de tiempo inverso de fase (51P)

Primero se debe calcular la corriente total que va a circular por el lado de baja del transformador de potencia cuando esté funcionando a plena carga con capacidad FA.

$$I_{n_{baja}} = \frac{KVA}{\sqrt{3} \times KV} = \frac{12500}{\sqrt{3} \times 13.8} = 522.96 \approx 523 [A]$$

Ahora si se calcula de la corriente de puesta de trabajo en Amperios en el lado primario de los CT'S, tomando en cuenta una sobrecarga de 10 %.

$$I_{pn} = I_{nbaja} \times 1.1 = 522.96 \times 1.1 = 575.26 \approx 575 [A]$$

Después se calcula la corriente de puesta de trabajo en Amperios en el lado secundario de los CT's

$$I_{sn} = \frac{575.26}{1200/5} = 2.4 [A]$$

En la Tabla 5.4 se muestra los ajustes del relé ABB SPAJ 140 C3.

<b>RELÉ ABB SPAJ 140 C3 (51P)</b>	
I carga máxima	523 A
I sobrecarga (10%)	575 A
I pick up(primario)	575 A
I pick up (secundario)	2.4 A
TD	0.23

**Tabla 5.4** Ajuste del relé SPAJ 140 C3.

#### **5.5.4.2 Ajuste de la protección de sobrecorriente Instantáneo de fase (50P)**

Para poder realizar este ajuste tenemos que tener en cuenta un rango de 1 a 1.2 veces la corriente máxima de falla. En donde la corriente en el lado primario de los CT's es:

$$I_{pn} = 1 \times I_{falla \max 13.8 \text{ KV}}$$

$$I_{pn} = 1 \times 3677 = 3677 \text{ [A]}$$

La corriente en el lado secundario de los CT's se muestra a continuación:

$$I_{sn} = \frac{3677}{1200/5} = 15.32$$

#### 5.5.4.3 Ajuste de la protección de sobrecorriente de tiempo inverso de tierra (51G)

Para poder realizar este ajuste tenemos que tener en cuenta que la puesta de trabajo es el 20% de la corriente de plena carga que pasa por el lado de baja del transformador de potencia. En donde la corriente en el lado primario de los CT's es:

$$I_{pn} = 0.2 \times I_{n_{13.8 \text{ KV}}}$$

$$I_{pn} = 0.2 \times 522.96 = 104.6 \text{ [A]}$$

La corriente en el lado secundario de los CT's se muestra a continuación:

$$I_{pn} = \frac{104.6}{1200/5} = 0.44 \text{ [A]}$$

<b>RELÉ ABB SPAJ 140 C3 (51G)</b>	
I pick up(primario)	105 A
I pick up (secundario)	0.44 A
TD	1

**Tabla 5.5** Ajuste del 51G

### 5.5.5 Protección de Sobre corriente de Fase en las Alimentadoras

#### 5.5.5.1 Relé SPAA 341 2C

Para ajustar el Relé SPAA 341 2C marca ABB, quien corresponde a un relé de sobrecorriente (50/51), se selecciona la carga máxima entre las alimentadoras. Estos relés se encuentran conectados con un transformador de corriente de relación 600:5.

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3}V} = \frac{3334.46 \text{ KVA}}{\sqrt{3} * 13.8 \text{ KV}} = 139.50 \text{ A}$$

En la Tabla 5.6, se muestra el ajuste del relé SPAA 341 2C.



<b>Relé SPAA 341 2C – TC = 600:5</b>				
Alimentadoras	Cdla. Victoria	Central Playas	Engabao	Sector Centro
I carga máxima	139.50 A	139.50 A	139.50 A	139.50 A
I sobre carga (10%)	153.45 A	153.45 A	153.45 A	153.45 A
I pick up ( primario)	153.45 A	153.45 A	153.45 A	153.45 A
I pick up ( secundario)	1.28 A	1.28 A	1.28 A	1.28 A
TD	5	5	5	5

**Tabla 5.6** Ajuste del relé SPAA 341 2C

#### 5.5.5.2 Relé SEL-751A

Para ajustar el Relé SEL-751A, quien corresponde a un relé de sobrecorriente (50/51), se selecciona la carga máxima entre las alimentadoras. Este relé se encuentra conectado a un transformador de corriente de relación 600:5.

<b>Relé SEL-751A - TC 600:5</b>	
Alimentadora	Interconexión
I carga máxima	139.50 A
I sobre carga (10%)	153.45 A
I pick up ( primario)	153.45 A
I pick up ( secundario)	1.28 A
TD	5

**Tabla 5.7** Ajuste del relé SEL-751<sup>a</sup>

## 5.5.6 Protección de Sobre corriente de Falla a Tierra en las Alimentadoras

### 5.5.6.1 Relé SPAA 341 2C

Para ajustar la protección contra falla a tierra del relé SPAA 341 2C, se considera un criterio de desbalance del 20% de la corriente nominal.

Estos relés se encuentran conectados con un transformador de corriente de relación 600:5.

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3}V} = \frac{3334.46 \text{ KVA}}{\sqrt{3} * 13.8 \text{ KV}} = 139.50 \text{ A}$$

En la Tabla 5.8, se muestra el ajuste del relé SPAA 341 2C.

<b>Relé SPAA 341 2C – TC = 600:5</b>				
Alimentadoras	Cdla. Victoria	Central Playas	Engabao	Sector Centro
I carga máxima	139.50 A	139.50 A	139.50 A	139.50 A
20% I <sub>n</sub>	27.9 A	27.9 A	27.9 A	27.9 A
I pick up ( primario)	27.9 A	27.9 A	27.9 A	27.9 A
I pick up ( secundario)	0.23 A	0.23 A	0.23 A	0.23 A
TD	1	1	1	1

**Tabla 5.8** Ajuste del relé SPAA 341 2C

Dado que se tomó una carga base máxima para realizar la coordinación de la protección, se presenta el mismo ajuste para las cuatro alimentadoras.

#### 5.5.6.2 Relé SEL-751A

Para ajustar la protección contra falla a tierra del relé SEL-751A, se considera un criterio de desbalance del 20% de la corriente nominal. Este relé se encuentra conectado a un transformador de corriente de relación 600:5

<b>Relé SEL-751A - TC 600:5</b>	
Alimentadora	Interconexión
I carga máxima	139.50 A
20% In	27.9 A
I pick up ( primario)	27.9 A
I pick up ( secundario)	0.23 A
TD	1

**Tabla 5.9** Ajuste del relé SEL-751A

## 5.6 RESULTADOS DE LA COORDINACIÓN DE LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN

La coordinación de los equipos a realizarse en la subestación Playas consiste en el fusible en la troncal y el relé de sobrecorriente en cada alimentadora, el relé de sobrecorriente en el lado de baja tensión y la curva de daño del transformador de potencia.

### 5.6.1 Coordinación de la alimentadora Ciudadela Victoria

En la Tabla 5.10 se muestra los ajustes realizados a los equipos de protección de la alimentadora Ciudadela Victoria.

CIUDADELA VICTORIA	
Equipo de Protección	Ajuste
Fusible	100 K
Relé SPAA 2C	CT = 600:5 I pick up = 153 [A] TD = 5
Relé SPAJ 140 C3	CT=1200:5 I pick up= 575 [A] TD = 0.23

**Tabla 5.10** Resumen de Ajuste de Equipos de Protección de Ciudadela Victoria

En la Figura 5.7 se muestra los resultados de la coordinación de los equipos de protección de la alimentadora Ciudadela Victoria.

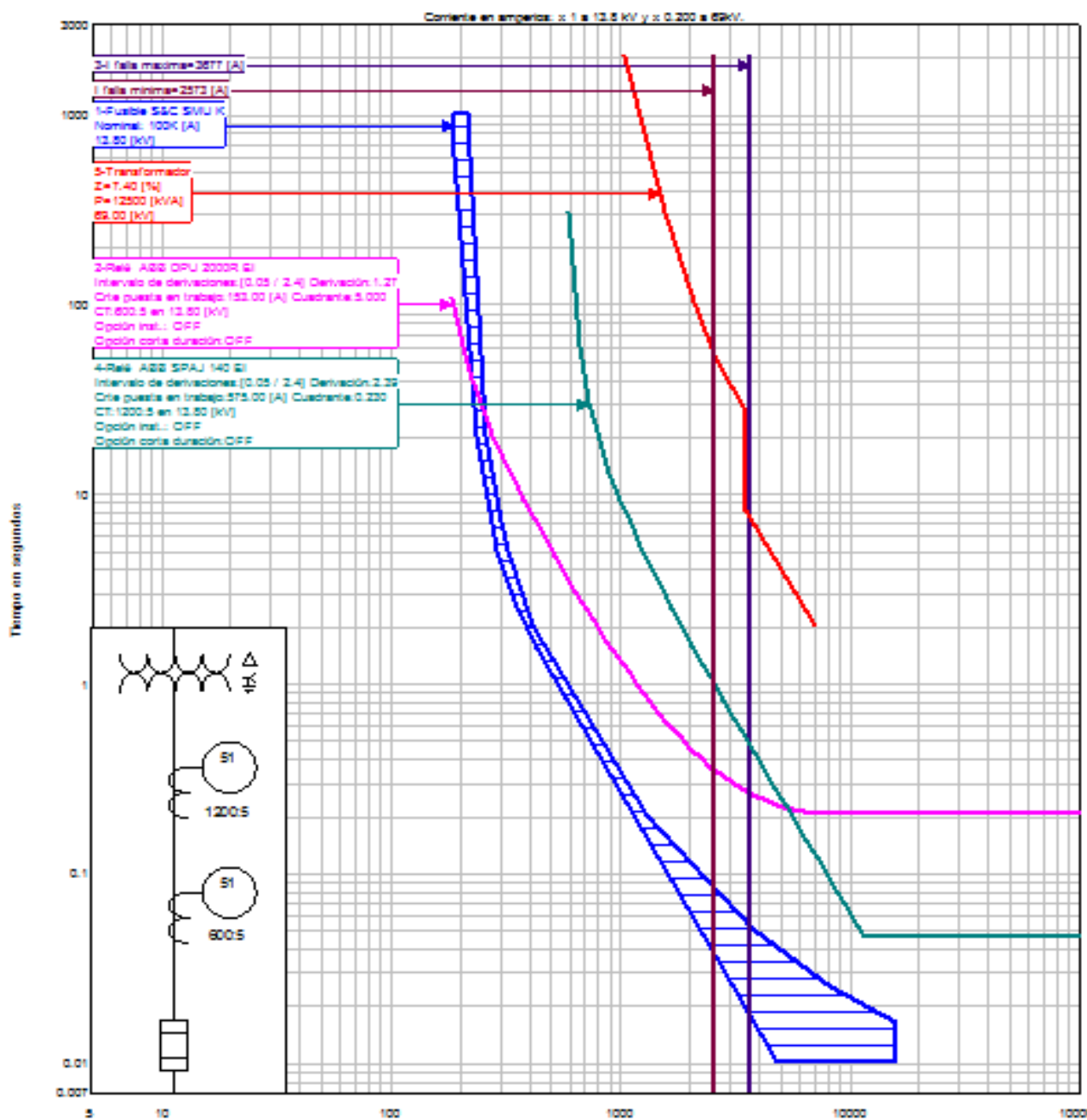


Figura 5.7 Curvas de equipos de protección de la alimentadora Cdl. Victoria

### 5.6.2 Coordinación de la alimentadora Central Playas

En la Tabla 5.11 se muestra los ajustes realizados a los equipos de protección de la alimentadora Central Playas.

<b>CENTRAL PLAYAS</b>	
<b>Equipo de Protección</b>	<b>Ajuste</b>
Fusible	100 K
Relé SPAA 2C	CT = 600:5 I pick up = 153 [A] TD = 5
Relé SPAJ 140 C3	CT=1200:5 I pick up= 575 [A] TD = 0.23

**Tabla 5.11** Resumen de Ajuste de Equipos de Protección de Central Playas

En la Figura 5.8 se muestra los resultados de la coordinación de los equipos de protección de la alimentadora Central Playas.

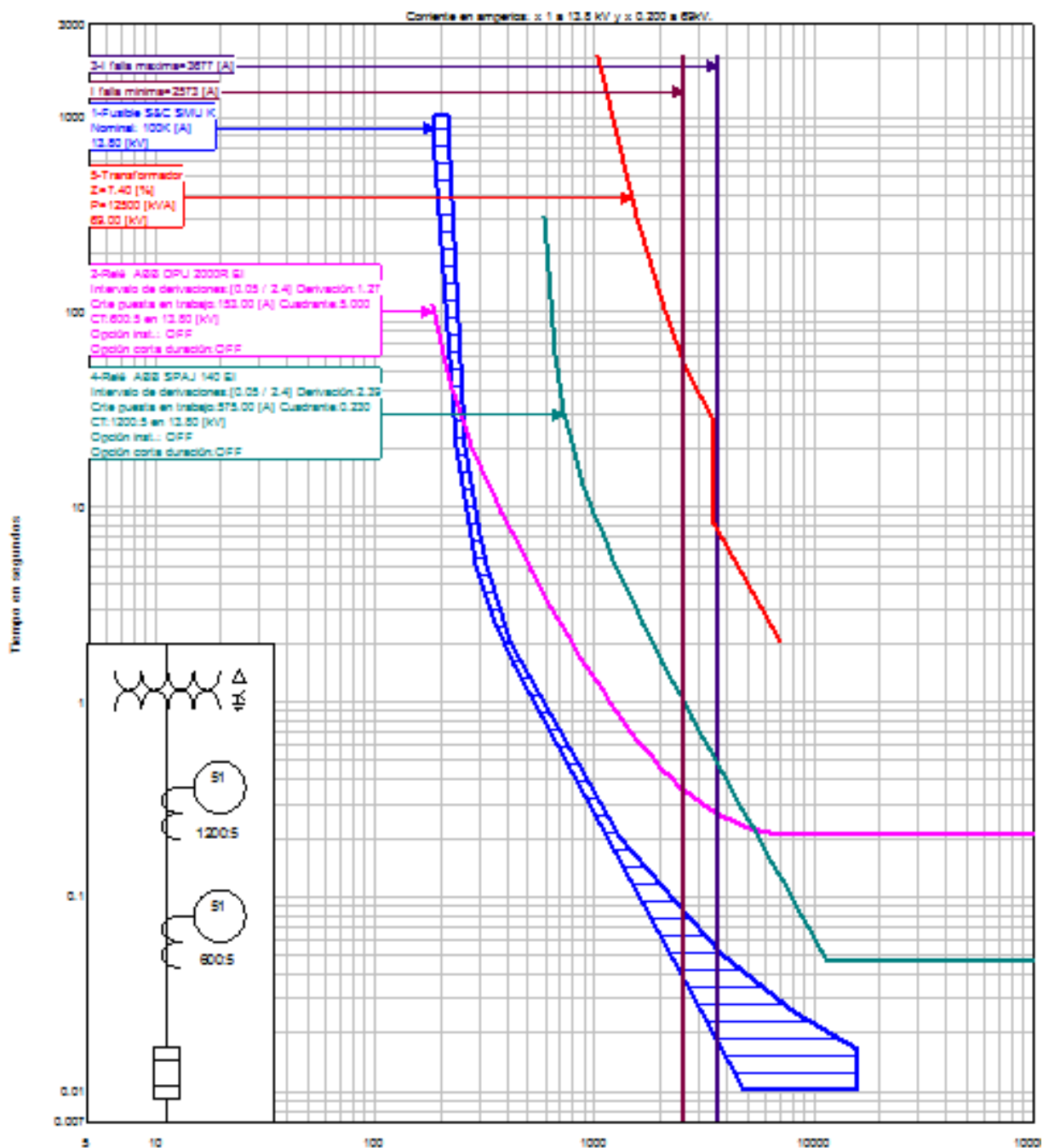


Figura 5.8 Curvas de equipos de protección de la alimentadora Central Playas

### 5.6.3 Coordinación de la alimentadora Engabao

En la Tabla 5.12 se muestra los ajustes realizados a los equipos de protección de la alimentadora Engabao.

ENGABAO	
Equipo de Protección	Ajuste
Fusible	100 K
Relé SPAA 2C	CT = 600:5 I pick up = 153 [A] TD = 5
Relé SPAJ 140 C3	CT=1200:5 I pick up= 575 [A] TD = 0.23

**Tabla 5.12** Resumen de Ajuste de Equipos de Protección de Engabao

En la Figura 5.9 se muestra los resultados de la coordinación de los equipos de protección de la alimentadora Engabao.



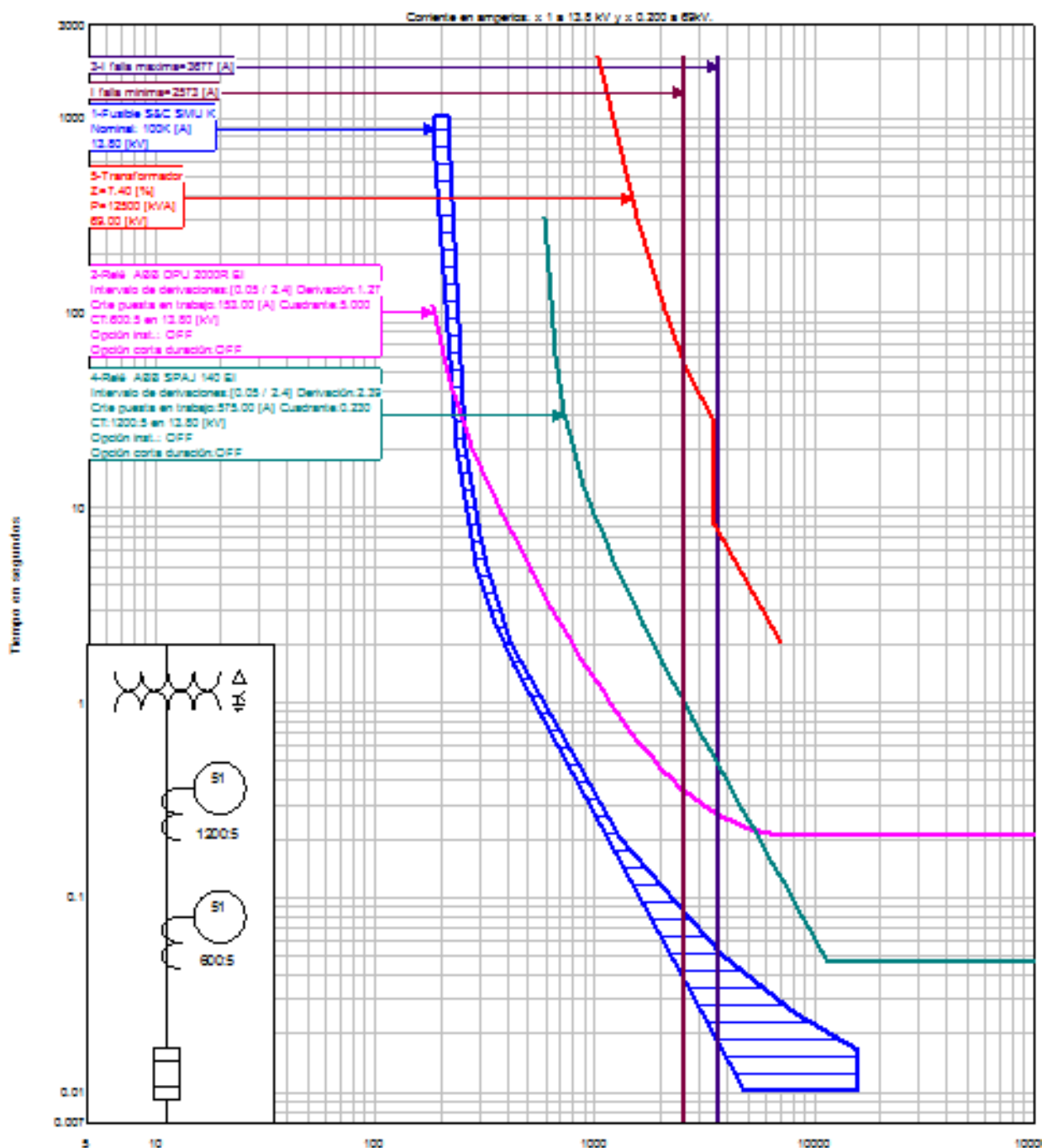


Figura 5.9 Curvas de equipos de protección de la alimentadora Engabao

#### 5.6.4 Coordinación de la alimentadora Sector Centro

En la Tabla 5.13 se muestra los ajustes realizados a los equipos de protección de la alimentadora Sector Centro.

SECTOR CENTRO	
Equipo de Protección	Ajuste
Fusible	100 K
Relé SPAA 2C	CT = 600:5 I pick up = 153 [A] TD = 5
Relé SPAJ 140 C3	CT=1200:5 I pick up= 575 [A] TD = 0.23

**Tabla 5.13** Resumen de Ajuste de Equipos de Protección de Sector Centro

En la Figura 5.10 se muestra los resultados de la coordinación de los equipos de protección de la alimentadora Sector Centro.

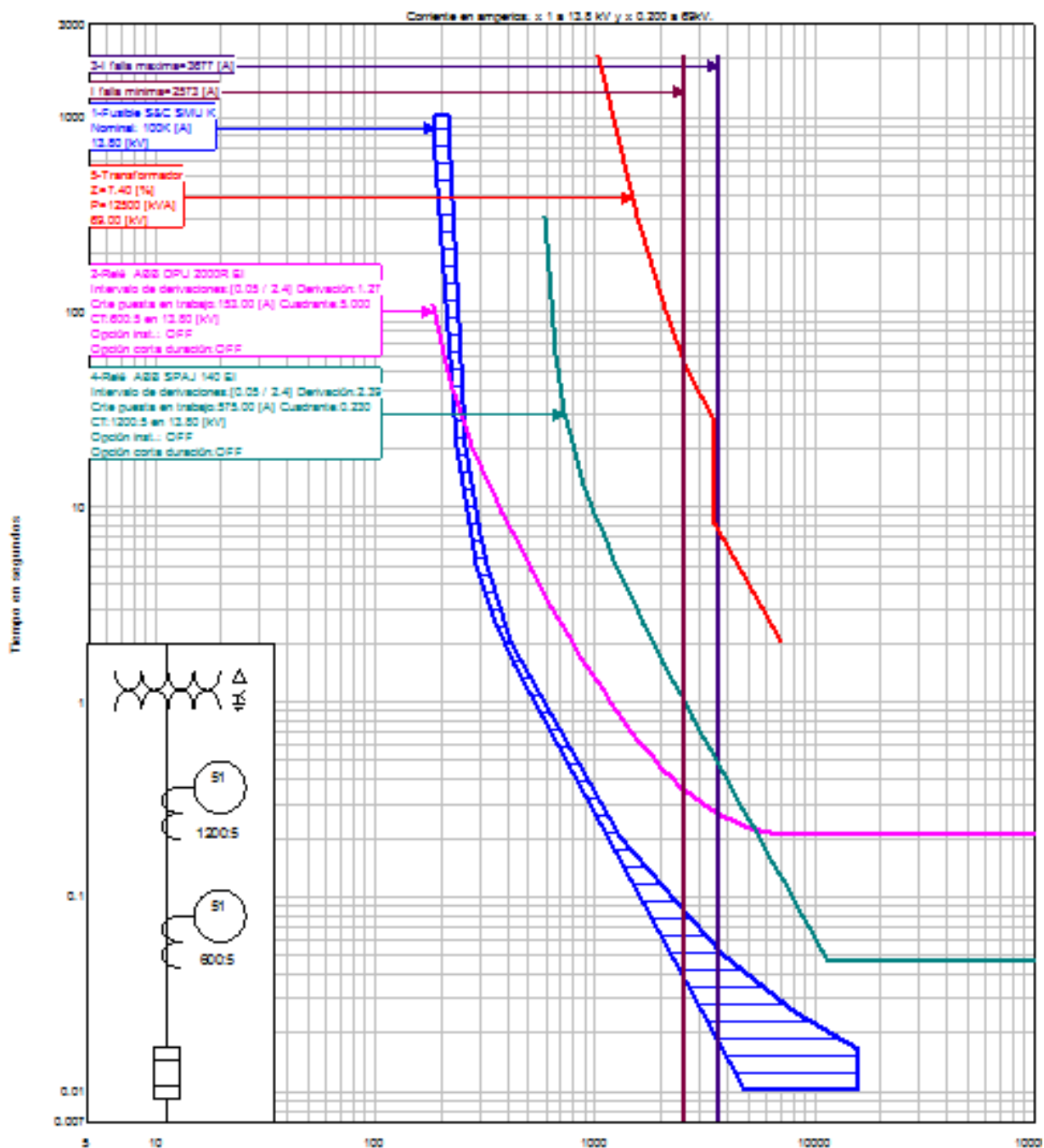


Figura 5.10 Curvas de equipos de protección de la alimentadora Sector Centro

### 5.6.5 Coordinación de la alimentadora Interconexión

En la Tabla 5.14 se muestra los ajustes realizados a los equipos de protección de la alimentadora Interconexión.

INTERCONEXIÓN	
Equipo de Protección	Ajuste
Fusible	100 K
Relé SPAA 2C	CT = 600:5 I pick up = 153 [A] TD = 5
Relé SPAJ 140 C3	CT=1200:5 I pick up= 575 [A] TD = 0.23

**Tabla 5.14** Resumen de Ajuste de Equipos de Protección de Interconexión

En la Figura 5.11 se muestra los resultados de la coordinación de los equipos de protección de la alimentadora Interconexión.

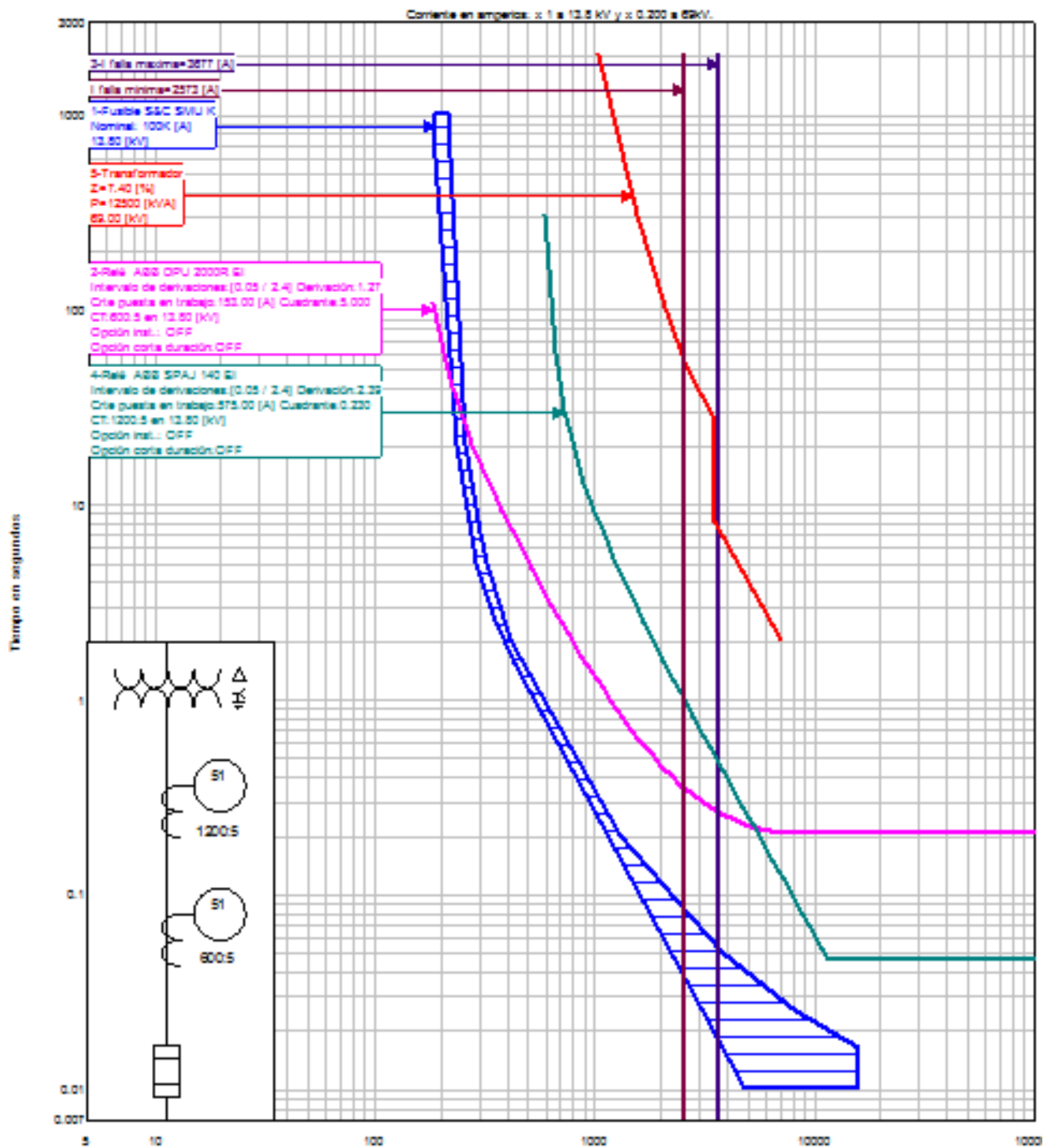
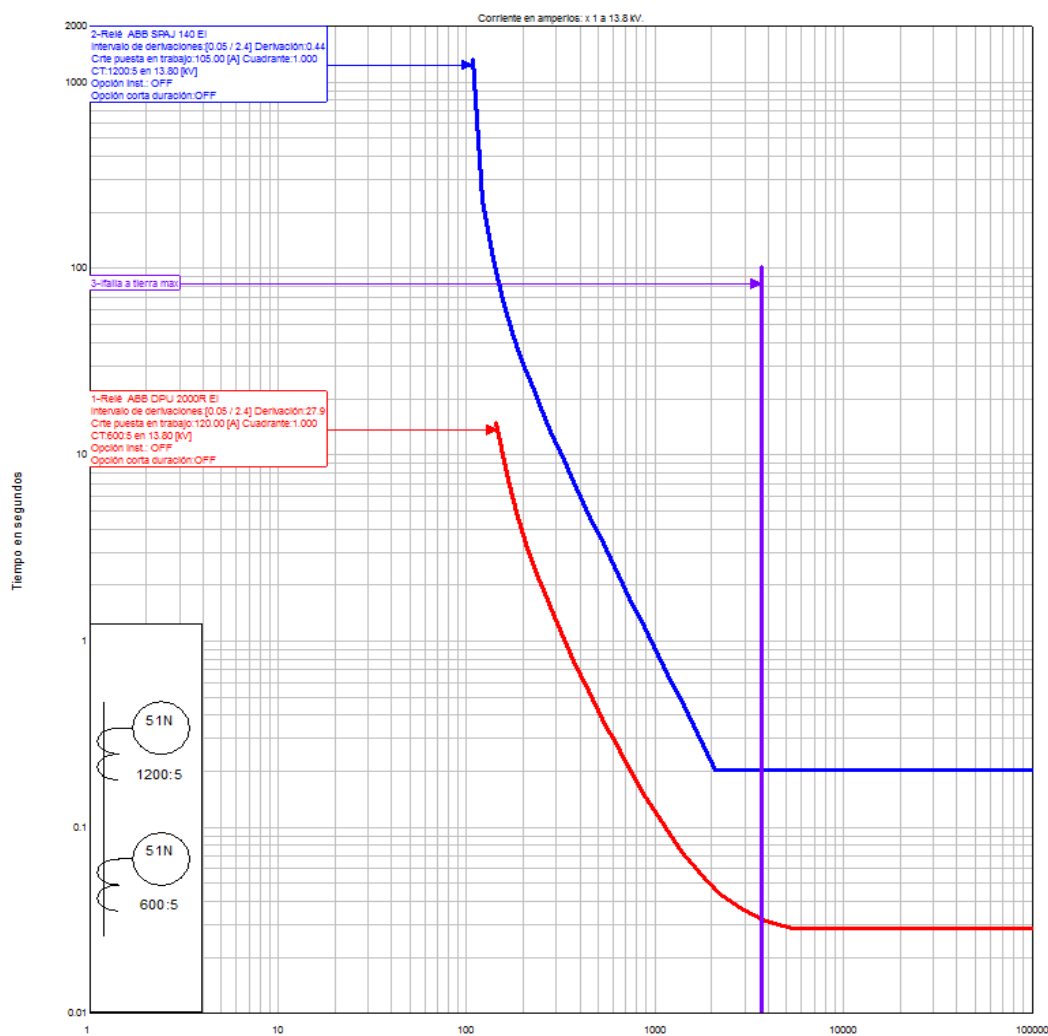


Figura 5.11 Curvas de equipos de protección de la alimentadora Interconexión

### 5.6.6 Coordinación de Relés de sobrecorrientes de falla a tierra.

En la Figura 5.12 se muestra los resultados de la coordinación de los equipos de protección de falla a tierra para todas las alimentadoras con el relé de sobrecorriente del transformador.



**Figura 5.12** Curvas de Relés de sobrecorriente para falla a tierra (51G)

En la Tabla 5.15 se muestra los ajustes realizados a los equipos de protección de sobrecorriente de falla a tierra de tiempo inverso.

<b>Equipo</b>	<b>Ajuste</b>
Relé ABB SPAJ 140 C3 (51 G)	CT: 1200/5  $I_{pick\ up(primario)} = 105\ A$  $I_{pick\ up(secundario)} = 0.44\ A$  TD = 1
Relé ABB SPAA 341 2C (51G)	CT: 600/5  $I_{pick\ up(primario)} = 27.9\ A$  $I_{pick\ up(secundario)} = 0.23\ A$  TD = 1
Relé SEL 751 A (51 G)	CT: 600/5  $I_{pick\ up(primario)} = 27.9\ A$  $I_{pick\ up(secundario)} = 0.23\ A$  TD = 1

**Tabla 5.15** Resumen de Ajuste de Equipos de Protección de falla a tierra

## 5.7 RESUMEN DE AJUSTES

En la Tabla 5.16, se muestra el ajuste realizado a los relés de protección del Transformador principal de la Subestación Playas.

Tipo	KV LL	I nom (A)	Relac. CT	Fac. CT	I Prim. CT	I Sec. CT	Factor	I ajuste	Tipo Curva	TD
SPAD 346 C3 (87)	69	104.59	600:5	120	104.59	0.8716	1	0.8716	-	-
SPAD 346 C3 (87)	13.8	522.96	1200:5	240	522.96	2.179	1.73	3.7741	-	-
SPAJ 140 C3 (51P)	13.8	522.96	1200:5	240	522.96	2.179	1.1	2.4	E.I.	0.23
SPAJ 140 C3 (50P)	13.8	3677	1200:5	240	3677	15.32	1	15.32	INST	-
SPAJ 140 C3 (51G)	13.8	522.96	1200:5	240	522.96	2.179	0.2	0.44	E.I.	1

**Tabla 5.16** Resumen de ajustes de la protección del Transformador.

El ajuste de la protección de sobrecorriente en las líneas se muestra en la Tabla 5.17.

Tipo	KV LL	I nom (A)	Relac. CT	Fac. CT	I Prim. CT	I Sec. CT	Factor	I ajuste	Tipo Curva	TD
SPAA 341 2C (50/51)	13.8	139.50	600:5	120	139.50	1.1625	1.1	1.28	E.I.	5
SPAA 341 2C (51G)	13.8	139.50	600:5	120	27.9	0.23	0.2	0.2	E.I.	1
SEL-751A (50/51)	13.8	139.50	600:5	120	139.50	1.1625	1.1	1.28	E.I.	5
SEL-751A (51G)	13.8	139.50	600:5	120	27.9	0.23	0.2	0.2	E.I.	1
Fusible 100K	13.8	139.5	-	-	-	-	1.5	93	-	-

**Tabla 5.17** Resumen de ajustes de la protección en las Líneas



### 5.8 AJUSTES DEL RELÉ DE FRECUENCIA, SPAF 340 C3

El CENACE con la finalidad de preservar la seguridad del sistema, indica que se debe ajustar el relé de frecuencia, tal como se muestra en la Tabla 5.18, el mismo que considera un seccionamiento del 47% de su demanda total, distribuido en siete pasos o etapas de desconexión. Las etapas por umbral de frecuencia operan en el rango de 59,4 Hz hasta 58,5 Hz con pasos discretos de 0,2 Hz y 0,1 Hz.

Este esquema de alivio de carga por baja frecuencia para nuestro sistema nacional interconectado esta con vigencia para el período Abril – Septiembre 2014.

<b>Porcentajes de Desconexión de Carga</b>				
Paso	Frecuencia (Hz)	Tiempos de actuación (ciclos)	Desconexión de carga (%)	Desconexión acumulada de carga (%)
<b>1</b>	59.4	12	6%	6%
<b>2</b>	59.2	12	6%	12%
<b>3</b>	59.1	12	7%	19%
<b>4</b>	59.0	12	7%	26%
<b>5</b>	58.8	12	7%	33%
<b>6</b>	58.6	12	7%	40%
<b>7</b>	58.5	12	7%	47%

**Tabla 5.18** Esquema de alivio de carga por baja frecuencia del CENACE

De acuerdo al esquema propuesto por el CENACE, se recomienda que la subestación Playas este regulada en el cuarto paso que equivale a una frecuencia de 59 Hz.

## **5.9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Para determinar la corriente de carga máxima del circuito, es decir para conocer la capacidad de cada alimentadora, se consideró una carga máxima conjunta, debido a que las cargas en las alimentadoras son similares. Es decir tomando el caso extremo, el cual se puede presentar en una transferencia de carga.

Por el caso anteriormente descrito se tomó una carga conjunta de 3334.46 KVA, que corresponde a las cargas de las alimentadoras Cdla. Victoria y Sector Centro, a un nivel de voltaje de 13.8KV.

Cada una de las alimentadoras de la Subestación Playas tienen fusibles TRONCALES y relés de sobrecorriente para su protección, en el transformador principal posee protección diferencial y de sobre corriente; debido a lo anterior mencionado la coordinación se la realizo empezando desde la carga más alejada hacia la subestación para minimizar la salida de servicio de las cargas ante la presencia de una falla.

Los fusibles tipo K se encuentran en la Subestación Playas, estos dispositivos cumplen con las normas ANSI C37.42 que soportan una corriente de 1.5 veces la corriente nominal.

En los relés numéricos se estableció un intervalo de coordinación de aproximadamente 0.2 segundos entre cada curva de los elementos de protección.

Cada alimentadora presenta la misma coordinación debido a que posee aproximadamente la misma carga, los mismos elementos de protección y se realizó la coordinación considerando la carga conjunta máxima.

## CONCLUSIONES

1. La potencia consumida por el conjunto de alimentadoras cuando el sistema se encuentra operando con máxima carga es 7.69 MW y 2.65 MVAR, y cuando opera a mínima carga es 2.7 MW y 1.0 MVAR.
2. Cuando se realiza el análisis con máxima carga la alimentadora Sector Centro es la que presenta la mayor carga conectada a la subestación, mientras que la alimentadora Interconexión presenta la menor carga conectada. En cambio cuando se realiza el análisis con mínima carga la alimentadora Engabao presento la mayor carga conectada a la subestación, mientras que la alimentadora Interconexión presento una menor carga conectada.
3. Al momento de realizar el flujo de potencia con el simulador Power World para el caso de carga máxima se obtuvo que en la barra de 69 KV el voltaje es 1.00 p.u., mientras que en la barra de 13.8 KV el voltaje es 0.982 p.u.. Para el mismo análisis en carga mínima se obtuvo que en la barra de 69 KV el voltaje es 1.00 p.u., mientras que en la barra de 13.8 KV el voltaje es 0.988 p.u., por lo tanto el nivel de voltaje en las barras se encuentran dentro

del rango permitido de porcentaje de más/menos 2.5 %, y por eso se debe mantener el TAP en posición 3.

4. El transformador de potencia de la subestación, cuando opera en condiciones de carga máxima se encuentra en 65% de la capacidad FA y el 23% de la capacidad FA para la carga mínima. Entonces se podrá seguir usando este transformador sin problema alguno por un tiempo más sin que ocurra alguna sobrecarga.
  
5. Para el estudio de cortocircuito se simularon en Power World las diferentes tipos de fallas de cortocircuito que podrían ocurrir en el sistema tanto para máxima carga como para mínima carga, y comparando los resultados obtenidos en la simulación con los entregados por CNEL Santa Elena división Playas se tienen valores muy cercanos entre ambos. La corriente máxima de cortocircuito que circula por las fases se da cuando ocurre una falla de línea a tierra en el caso base de máxima carga y la mínima corriente de cortocircuito que circula por las fases se da cuando ocurre una falla de línea a línea en el caso base de mínima carga.

6. Un sistema de protección adecuadamente coordinado es vital para asegurar que el sistema eléctrico de potencia opere dentro de los requerimientos y parámetros establecidos. La operación automática de los dispositivos de protección, permite aislar las fallas en el menor tiempo posible para poder minimizar los daños.
  
7. Para el caso de coordinación del relé SPAD 346 C3 que va a actuar como protección diferencial en el transformador principal, este va a actuar desenergizando toda la subestación si es que ocurre una falla interna en el mismo, en cambio el relé SPAJ 140C que da protección de sobrecorriente y falla a tierra va a actuar en el caso de que ocurra un cortocircuito en el lado de baja externa al transformador, desenergizando todas las alimentadores gracias al interruptor en baja tensión y dejando energizado al transformador, así se evitara la corriente de inrush de arranque del transformador.
  
8. En los relés numéricos se estableció un intervalo de coordinación de aproximadamente 0.2 segundos entre cada curva de los equipos de protección.

9. Los fusibles tipo K que se encuentran en la Subestación Playas, cumplen con las normas ANSI C37.42 que soportan una corriente de 1.5 veces la corriente nominal.
10. La coordinación de las protecciones se realizó empezando desde la carga más lejana hacia la subestación, para poder garantizar los criterios de selectividad, sensibilidad y rapidez de operación manteniendo la continuidad en la operación del sistema. En este estudio, confirma que el sistema de protección que posee la Subestación Playas asegura la protección del transformador de potencia y la continuidad de servicio.

## **RECOMENDACIONES**

1. Para optimizar el nivel de confiabilidad de la Subestación se debe realizar un estudio para conocer si es necesario instalar otra fuente de alimentación, es decir tener una doble alimentación, ya que de presentarse una falla es posible mantener la continuidad de servicio en el sistema.
2. En futuro la carga en la Subestación podría sobrepasar la capacidad OA/FA del transformador principal, por lo que debería ser reemplazado por uno de mayor capacidad 18/24MVA.



# **ANEXOS**

## ANEXO 1

### CARGAS DE LAS ALIMENTADORAS DE LA SUBESTACIÓN PLAYAS

#### Anexo 1.a

DÍA	HORAS	CDLA. VICTORIA		CENTRAL PLAYAS		ENGABAO		SECTOR CENTRO		INTERCONEXION	
		KW	KVAR	KW	KVAR	KW	KVAR	KW	KVAR	KW	KVAR
<b>1</b>	1:00:00	660	335	791	371	920	580	838	173	681	43
	2:00:00	615	324	733	360	880	580	768	154	628	44
	3:00:00	598	338	698	366	850	580	722	141	619	48
	4:00:00	577	341	689	360	820	580	681	135	607	42
	5:00:00	559	346	683	363	820	580	647	127	615	60
	6:00:00	481	318	495	317	750	580	572	68	507	20
	7:00:00	439	300	470	306	700	550	611	80	493	-15
	8:00:00	481	307	529	334	750	550	669	99	533	24
	9:00:00	511	296	588	357	750	550	822	135	544	12
	10:00:00	552	268	607	352	750	550	994	180	630	40
	11:00:00	551	266	618	349	850	550	1020	185	572	21
	12:00:00	587	285	676	383	850	550	1101	243	599	50
	13:00:00	534	295	702	402	850	550	1108	244	627	58
	14:00:00	561	287	700	386	850	550	1016	209	684	74
	15:00:00	553	281	723	421	850	550	1028	216	605	41
	16:00:00	538	270	702	407	850	550	939	181	596	34
	17:00:00	531	263	671	392	850	550	1000	197	557	20
	18:00:00	534	254	766	353	900	550	1080	174	648	8
	19:00:00	662	290	1170	410	1200	550	1274	234	917	44
	20:00:00	602	275	1160	397	1200	550	1243	216	903	33
	21:00:00	604	285	1122	402	1200	550	1158	201	907	32
22:00:00	570	250	1013	380	1100	500	1135	202	845	22	
23:00:00	547	268	905	365	1000	520	937	175	727	19	
0:00:00	528	268	789	354	900	510	865	158	667	28	
	1:00:00	481	244	686	326	850	520	755	121	597	15
	2:00:00	474	242	674	328	800	520	741	125	588	18
	3:00:00	466	248	662	325	780	520	727	127	579	28
	4:00:00	457	253	645	323	780	520	719	122	573	19

2	5:00:00	441	247	626	312	780	520	645	86	545	20
	6:00:00	433	238	647	307	820	520	617	39	625	22
	7:00:00	358	207	539	281	780	520	615	35	485	-50
	8:00:00	382	208	554	302	780	520	699	87	483	-44
	9:00:00	428	249	615	373	800	550	855	138	486	-11
	10:00:00	454	235	693	384	850	550	983	189	578	43
	11:00:00	467	272	760	451	850	550	1012	208	534	26
	12:00:00	485	293	773	472	900	600	1104	224	645	89
	13:00:00	490	263	790	432	900	600	1251	290	564	20
	14:00:00	483	256	768	424	900	600	1265	298	623	68
	15:00:00	465	243	764	427	900	600	1276	302	558	26
	16:00:00	488	251	725	411	900	600	1183	279	552	26
	17:00:00	475	250	778	405	900	600	1178	253	595	23
	18:00:00	462	261	796	393	900	600	1168	231	603	21
	19:00:00	637	296	1265	454	1200	600	1401	305	940	67
	20:00:00	640	306	1255	440	1250	600	1334	266	1000	66
	21:00:00	605	292	1232	434	1200	590	1248	236	963	46
	22:00:00	596	271	1105	405	1200	550	1235	238	881	14
	23:00:00	563	270	956	379	1100	510	1067	285	763	15
0:00:00	527	259	820	347	1000	510	928	165	665	20	
3	1:00:00	494	256	703	335	850	550	800	137	586	8
	2:00:00	461	247	679	345	850	550	747	126	552	11
	3:00:00	462	258	660	344	850	550	720	120	548	11
	4:00:00	460	253	658	336	850	550	717	122	551	13
	5:00:00	465	257	653	329	850	550	731	125	553	5
	6:00:00	445	251	636	325	850	550	643	51	561	-29
	7:00:00	378	212	565	284	750	500	645	41	489	-51
	8:00:00	364	225	534	291	750	500	722	96	498	-33
	9:00:00	422	251	560	344	825	600	916	157	481	-9
	10:00:00	425	251	621	372	825	575	1021	189	552	31
	11:00:00	460	250	661	397	875	575	1105	215	515	6
	12:00:00	457	278	726	425	875	600	1282	278	606	66
	13:00:00	448	261	731	426	875	600	1221	260	571	43
	14:00:00	447	257	733	409	875	575	1250	271	560	31
	15:00:00	468	301	717	424	875	575	1221	287	587	76

	16:00:00	453	276	748	455	875	575	1246	308	531	37
	17:00:00	451	318	674	418	850	600	1110	259	537	41
	18:00:00	445	294	776	393	900	600	1160	248	603	6
	19:00:00	618	291	1200	430	1250	600	1376	271	948	53
	20:00:00	628	310	1236	423	1250	600	1355	271	978	37
	21:00:00	621	317	1223	430	1250	600	1293	250	1032	97
	22:00:00	607	306	1118	417	1200	590	1248	253	879	33
	23:00:00	551	285	913	370	1000	510	1076	210	728	25
	0:00:00	515	253	797	342	900	500	900	161	648	12
4	1:00:00	475	262	717	352	850	550	797	138	579	18
	2:00:00	474	267	662	340	850	550	764	145	561	22
	3:00:00	466	258	643	329	850	550	735	126	553	10
	4:00:00	463	252	641	322	800	550	728	123	552	9
	5:00:00	462	249	646	319	800	550	717	116	613	44
	6:00:00	470	266	674	310	850	550	685	106	898	113
	7:00:00	375	220	557	288	750	550	641	41	779	73
	8:00:00	370	206	542	291	750	550	716	90	766	82
	9:00:00	428	267	610	366	790	560	931	147	796	130
	10:00:00	467	260	679	388	800	590	1025	181	515	2
	11:00:00	500	296	711	434	850	600	1058	215	598	65
	12:00:00	487	309	740	460	900	600	1064	237	547	32
	13:00:00	505	310	750	440	900	600	1184	257	545	21
	14:00:00	461	293	750	437	850	600	1158	270	615	65
	15:00:00	442	267	732	422	890	600	1033	209	560	31
	16:00:00	460	267	700	412	850	600	1164	254	632	62
	17:00:00	446	259	706	426	825	575	1072	217	531	35
	18:00:00	472	291	798	403	925	600	1118	212	590	22
	19:00:00	647	313	1247	459	1275	625	1375	280	1001	102
	20:00:00	648	302	1276	458	1275	600	1339	271	984	55
21:00:00	629	286	1217	429	1250	575	1238	230	982	50	
22:00:00	615	295	1138	428	1100	575	1224	232	886	26	
23:00:00	574	282	970	394	1000	550	1019	205	775	24	
	0:00:00	511	246	837	375	875	525	903	163	677	9
	1:00:00	461	232	728	362	710	500	772	136	595	11
	2:00:00	454	242	671	342	700	500	747	129	575	14

5	3:00:00	452	240	668	340	700	500	728	125	580	14
	4:00:00	449	237	665	337	700	500	695	118	583	13
	5:00:00	447	235	657	335	750	510	683	113	593	13
	6:00:00	445	232	653	330	750	510	677	105	596	12
	7:00:00	377	229	608	316	700	500	656	92	528	-33
	8:00:00	362	216	577	316	700	500	735	96	501	-29
	9:00:00	427	24	623	355	750	550	979	159	502	-24
	10:00:00	441	266	686	400	750	575	1156	235	593	68
	11:00:00	503	305	733	467	775	625	1239	287	524	42
	12:00:00	510	296	756	449	800	625	1273	305	565	36
	13:00:00	479	255	757	420	800	600	1261	272	646	73
	14:00:00	512	297	760	444	800	600	1304	323	571	43
	15:00:00	510	286	762	431	750	550	1316	316	585	39
	16:00:00	479	280	739	435	775	575	1311	326	549	16
	17:00:00	501	285	773	405	820	580	1255	275	684	68
	18:00:00	555	350	931	447	990	600	1348	304	787	72
	19:00:00	669	309	1251	467	1220	600	1418	289	973	61
	20:00:00	660	322	1303	479	1250	610	1406	285	1022	70
	21:00:00	636	318	1259	454	1220	600	1309	257	968	46
	22:00:00	614	304	1117	430	1120	580	1308	268	954	81
23:00:00	597	289	992	410	1020	580	1066	210	773	30	
0:00:00	575	276	866	397	900	580	941	177	748	73	
6	1:00:00	542	288	748	387	750	510	865	171	633	34
	2:00:00	511	287	715	393	700	500	800	163	591	30
	3:00:00	473	270	687	380	700	500	753	128	575	30
	4:00:00	458	265	655	347	700	500	725	97	583	28
	5:00:00	435	251	638	328	700	500	695	73	618	26
	6:00:00	418	249	623	311	700	500	660	46	622	25
	7:00:00	377	218	564	308	700	500	678	89	480	-39
	8:00:00	378	212	562	314	700	500	763	108	485	-23
	9:00:00	463	254	721	417	725	550	1034	191	525	-1
	10:00:00	512	285	750	436	775	550	1221	257	569	25
	11:00:00	522	287	777	439	775	550	1239	283	547	23
	12:00:00	555	309	817	471	850	600	1331	307	596	52
	13:00:00	522	287	811	456	850	600	1281	265	667	96

	14:00:00	541	282	807	440	850	575	1355	318	618	49
	15:00:00	568	307	794	452	850	575	1353	316	669	97
	16:00:00	541	337	782	474	850	600	1323	345	618	75
	17:00:00	544	344	724	450	820	600	1307	352	589	80
	18:00:00	551	326	763	440	900	620	1266	303	617	35
	19:00:00	689	309	1222	459	1220	600	1524	319	948	73
	20:00:00	703	322	1278	454	1280	620	1420	288	1024	71
	21:00:00	677	312	1246	443	1250	600	1288	251	982	52
	22:00:00	674	306	1177	426	1180	600	1278	261	988	90
	23:00:00	623	288	997	394	1050	580	1075	196	825	28
	0:00:00	582	275	858	374	920	550	900	167	716	30
7	1:00:00	566	280	821	379	900	580	877	158	687	38
	2:00:00	533	275	784	375	850	580	809	145	649	41
	3:00:00	518	282	711	372	800	580	752	139	627	42
	4:00:00	494	273	696	368	780	580	689	118	598	36
	5:00:00	479	265	690	362	780	580	644	105	586	22
	6:00:00	487	274	705	354	790	580	665	110	604	23
	7:00:00	406	235	564	321	720	550	633	46	503	36
	8:00:00	397	231	577	315	720	550	717	87	519	-31
	9:00:00	488	258	641	356	775	550	1004	180	554	17
	10:00:00	492	262	650	371	775	575	1134	228	567	22
	11:00:00	531	266	711	399	800	600	1200	247	647	69
	12:00:00	554	294	750	421	800	600	1214	253	592	36
	13:00:00	551	293	744	416	825	600	1248	262	601	45
	14:00:00	546	301	760	414	800	575	1252	278	605	56
	15:00:00	565	299	763	442	775	575	1242	300	644	78
	16:00:00	548	301	779	450	775	575	1235	303	652	82
	17:00:00	540	300	758	425	800	600	1181	267	683	85
	18:00:00	588	298	824	417	950	600	1245	241	677	43
	19:00:00	760	322	1234	444	1250	600	1386	241	992	64
	20:00:00	762	325	1286	457	1250	600	1355	246	1088	110
21:00:00	748	321	1256	449	1250	600	1368	260	1014	65	
22:00:00	739	326	1205	441	1200	600	1271	246	952	58	
23:00:00	704	342	1066	429	1100	600	1107	221	947	108	
0:00:00	657	318	941	405	1000	600	988	197	805	56	

8	1:00:00	614	319	827	402	875	600	875	174	766	107
	2:00:00	593	320	784	393	875	600	818	167	671	58
	3:00:00	551	310	733	393	875	600	794	166	662	61
	4:00:00	539	306	725	391	825	600	769	152	638	67
	5:00:00	502	309	732	395	775	600	759	151	615	58
	6:00:00	462	283	677	382	775	600	660	107	657	87
	7:00:00	374	242	548	323	700	550	580	35	501	-22
	8:00:00	368	241	565	318	700	550	675	86	511	-14
	9:00:00	426	215	598	322	750	550	808	122	576	28
	10:00:00	479	257	626	380	780	580	1001	191	626	68
	11:00:00	530	303	650	412	800	580	1067	216	555	23
	12:00:00	562	296	705	412	820	580	1078	219	654	81
	13:00:00	591	311	736	419	820	580	1099	227	629	52
	14:00:00	581	308	732	431	820	580	1100	255	641	60
	15:00:00	611	335	723	423	800	550	1070	234	653	91
	16:00:00	576	325	697	420	800	580	1079	247	598	47
	17:00:00	524	320	694	429	800	600	1061	244	605	58
	18:00:00	518	277	721	328	850	600	1012	223	678	71
	19:00:00	682	341	1187	456	1200	600	1345	272	952	68
	20:00:00	636	322	1248	446	1250	600	1344	268	947	57
	21:00:00	624	328	1239	468	1200	600	1209	236	936	65
	22:00:00	578	292	1115	428	1100	600	1218	226	854	46
	23:00:00	562	310	991	422	1000	600	1019	210	763	48
	0:00:00	505	290	847	396	900	600	900	177	739	88
9	1:00:00	482	278	745	382	820	580	771	135	610	30
	2:00:00	471	285	716	385	800	580	760	145	658	80
	3:00:00	461	272	705	366	780	550	711	127	647	75
	4:00:00	458	268	689	341	780	550	691	110	628	66
	5:00:00	465	265	701	345	780	550	646	96	642	60
	6:00:00	451	256	688	352	780	550	654	47	597	11
	7:00:00	346	215	604	310	750	550	652	41	478	-46
	8:00:00	369	216	559	316	750	550	714	98	551	-3
	9:00:00	380	223	598	331	750	550	874	128	483	-32
	10:00:00	401	232	667	374	800	550	953	172	494	-17
	11:00:00	415	221	660	355	800	550	998	170	577	40

	12:00:00	422	244	747	410	800	550	1034	181	535	7
	13:00:00	429	273	741	442	850	550	1023	193	533	39
	14:00:00	424	244	723	421	850	550	1040	191	556	36
	15:00:00	406	231	724	414	800	550	1102	211	607	66
	16:00:00	410	233	698	391	800	550	1070	216	519	17
	17:00:00	430	286	700	419	750	500	1045	225	523	22
	18:00:00	471	293	794	417	850	600	1118	202	652	58
	19:00:00	620	304	1237	465	1200	600	1398	270	911	58
	20:00:00	606	305	1272	457	1200	600	1358	260	980	55
	21:00:00	613	314	1257	458	1200	600	1266	251	1031	105
	22:00:00	604	302	1147	436	1100	590	1247	260	895	40
	23:00:00	660	294	1005	406	1050	580	1122	221	885	85
	0:00:00	513	280	849	380	900	570	975	19	695	30
10	1:00:00	475	288	757	389	820	580	884	167	607	28
	2:00:00	461	280	709	372	800	580	836	159	615	29
	3:00:00	445	276	688	361	780	580	810	153	634	77
	4:00:00	438	269	671	358	780	580	783	141	628	70
	5:00:00	419	252	693	346	780	580	760	122	644	66
	6:00:00	442	272	721	354	780	580	730	106	665	57
	7:00:00	362	237	589	319	750	580	718	99	501	-29
	8:00:00	355	217	599	319	750	580	789	104	501	-23
	9:00:00	386	239	638	385	750	550	931	152	485	-4
	10:00:00	413	245	687	395	800	550	1093	214	556	43
	11:00:00	411	252	726	434	800	550	1166	229	518	14
	12:00:00	392	245	788	466	850	550	1214	249	537	18
	13:00:00	412	233	774	451	850	550	1280	278	606	67
	14:00:00	399	217	799	447	850	550	1249	270	550	24
	15:00:00	441	236	771	453	850	550	1291	287	563	26
	16:00:00	435	247	770	461	800	550	1279	300	534	23
17:00:00	400	248	717	448	750	600	1281	300	541	38	
18:00:00	416	256	744	446	800	600	1176	241	571	32	
19:00:00	621	274	1256	470	1200	600	1434	280	996	105	
20:00:00	642	304	1325	475	1200	600	1414	280	970	62	
21:00:00	625	290	1310	477	1200	600	1321	265	982	51	
22:00:00	580	252	1170	423	1100	550	1271	241	956	79	



	23:00:00	547	240	1005	393	1000	510	1030	195	777	14
	0:00:00	520	254	864	395	900	500	899	178	748	74
11	1:00:00	444	239	733	378	800	600	760	139	588	26
	2:00:00	442	249	725	380	800	600	723	122	577	27
	3:00:00	441	251	718	383	800	600	682	118	574	26
	4:00:00	440	254	713	388	800	600	641	113	560	28
	5:00:00	445	258	711	382	800	600	632	64	562	21
	6:00:00	355	236	627	322	750	600	623	48	560	-25
	7:00:00	339	207	602	334	750	600	638	88	546	6
	8:00:00	350	206	559	327	750	600	776	115	484	-30
	9:00:00	382	228	630	376	750	600	962	179	548	37
	10:00:00	398	232	695	388	750	600	1043	233	573	45
	11:00:00	417	234	15	428	800	600	1153	268	597	53
	12:00:00	423	236	35	445	800	600	1270	288	635	67
	13:00:00	392	230	770	450	800	600	1296	281	545	16
	14:00:00	387	205	770	421	750	550	1212	274	620	66
	15:00:00	420	241	750	437	750	550	1236	272	553	24
	16:00:00	481	252	775	455	750	550	1231	282	545	27
	17:00:00	434	22	717	459	775	600	1147	276	540	49
	18:00:00	474	277	748	424	800	625	1152	235	624	68
	19:00:00	632	275	1255	466	1175	600	1436	286	921	51
	20:00:00	665	299	1296	463	1250	625	1423	281	980	50
	21:00:00	631	292	1267	454	1225	600	1292	250	953	34
	22:00:00	595	270	1170	420	1175	600	1184	217	909	37
	23:00:00	568	273	1016	410	1050	575	1064	205	844	81
0:00:00	519	250	872	401	925	575	873	160	683	24	
	1:00:00	484	248	778	382	850	600	800	145	672	67
	2:00:00	479	264	750	402	800	600	776	150	588	32
	3:00:00	474	278	731	396	800	600	751	154	571	39
	4:00:00	474	268	714	386	800	600	758	166	639	78
	5:00:00	458	254	727	379	800	600	647	68	578	20
	6:00:00	475	276	743	384	850	600	686	118	615	19
	7:00:00	369	222	607	329	750	600	664	51	505	28
	8:00:00	351	206	599	326	750	600	767	114	478	-31
	9:00:00	410	234	610	378	700	520	1045	186	498	-7

12	10:00:00	450	246	695	418	700	520	1203	244	510	-5
	11:00:00	484	275	705	435	800	600	1240	270	560	21
	12:00:00	498	28	768	462	800	600	1271	267	623	67
	13:00:00	501	279	763	442	800	600	1267	270	575	4
	14:00:00	488	287	778	455	800	600	1289	286	589	30
	15:00:00	500	272	950	440	750	550	1344	302	640	74
	16:00:00	504	29	960	451	750	550	1282	298	563	32
	17:00:00	527	298	846	403	725	575	1216	285	548	33
	18:00:00	538	306	935	410	850	600	1221	244	687	83
	19:00:00	694	310	1495	420	1175	600	1473	293	1008	93
	20:00:00	673	301	1551	446	1250	600	1400	279	992	55
	21:00:00	654	293	1396	454	1175	575	1240	230	1025	75
	22:00:00	631	261	1318	409	1125	575	1276	246	908	21
	23:00:00	594	276	1156	392	1000	575	1023	193	791	24
0:00:00	546	258	983	366	900	575	876	154	755	68	
13	1:00:00	530	266	863	353	800	570	792	140	626	27
	2:00:00	497	277	820	371	800	570	775	150	605	36
	3:00:00	493	270	813	368	800	570	758	138	600	33
	4:00:00	484	253	808	355	800	570	697	123	597	25
	5:00:00	478	248	793	343	800	570	675	95	588	18
	6:00:00	462	242	785	330	800	570	636	51	583	2
	7:00:00	391	197	651	277	700	500	623	49	585	4
	8:00:00	374	187	671	284	700	500	744	100	500	-38
	9:00:00	515	285	805	379	725	550	997	163	520	8
	10:00:00	515	281	1084	297	725	550	1197	245	542	9
	11:00:00	534	291	1129	332	750	600	1253	280	551	38
	12:00:00	551	308	464	290	750	600	1300	296	564	32
	13:00:00	592	291	797	467	775	575	1273	256	635	76
	14:00:00	607	291	824	452	775	575	1289	263	556	16
	15:00:00	561	295	803	458	750	575	1325	321	574	39
	16:00:00	558	305	751	434	750	575	1217	271	638	87
17:00:00	573	278	749	399	780	550	1172	230	582	14	
18:00:00	566	289	844	412	900	580	1237	243	647	20	
19:00:00	757	341	1226	457	1180	580	1428	279	1015	107	
20:00:00	712	328	1275	457	1220	600	1418	276	1015	56	

	21:00:00	718	323	1246	449	1200	580	1387	265	950	41
	22:00:00	689	293	1145	421	1120	550	1274	235	971	73
	23:00:00	679	282	979	390	1000	550	1043	198	803	22
	0:00:00	658	307	875	389	920	580	934	191	779	68
14	1:00:00	624	287	776	379	800	520	822	152	649	20
	2:00:00	544	274	716	375	750	510	764	145	605	30
	3:00:00	532	273	694	370	750	510	745	143	604	29
	4:00:00	485	268	647	343	750	510	683	98	573	26
	5:00:00	447	263	583	328	700	510	657	75	535	24
	6:00:00	410	250	514	318	700	510	591	43	491	-20
	7:00:00	427	230	518	315	610	500	622	39	478	-42
	8:00:00	440	215	550	324	650	500	708	83	500	-22
	9:00:00	472	233	372	199	675	525	1037	207	585	38
	10:00:00	595	282	663	381	675	525	1161	226	546	10
	11:00:00	605	283	666	385	700	550	1190	254	563	19
	12:00:00	659	301	726	427	725	550	1252	292	664	85
	13:00:00	648	307	742	435	725	550	1291	286	593	56
	14:00:00	663	319	757	440	725	550	1237	303	624	76
	15:00:00	636	300	726	422	700	550	1246	311	603	62
	16:00:00	632	318	13	437	700	550	1134	281	664	106
	17:00:00	618	311	666	407	720	580	1073	231	683	108
	18:00:00	628	321	718	405	800	580	1156	227	665	43
	19:00:00	768	307	1166	437	1150	580	1402	278	978	64
	20:00:00	738	303	1218	430	1180	580	1346	253	1088	120
21:00:00	738	314	1201	433	1150	550	1276	237	983	58	
22:00:00	717	316	1137	426	1100	550	1302	267	938	66	
23:00:00	694	299	1014	402	1000	550	1114	212	870	53	
0:00:00	646	299	887	376	980	550	955	186	778	51	
	1:00:00	607	286	794	369	800	550	832	149	710	39
	2:00:00	592	284	738	358	800	550	780	137	667	50
	3:00:00	564	284	726	362	750	550	783	154	677	51
	4:00:00	545	286	736	357	725	550	770	155	619	55
	5:00:00	533	289	696	364	725	550	767	158	625	40
	6:00:00	521	288	605	366	725	550	739	146	620	58
	7:00:00	424	242	491	305	625	525	603	77	566	37

15	8:00:00	476	240	524	320	625	525	672	93	522	-6
	9:00:00	486	241	608	356	680	525	910	140	634	54
	10:00:00	517	252	654	376	680	520	974	167	586	17
	11:00:00	544	246	686	386	720	550	1026	195	575	21
	12:00:00	541	249	718	405	720	550	1079	204	676	97
	13:00:00	564	264	760	422	720	550	1157	241	673	88
	14:00:00	593	258	780	423	720	550	1138	231	591	36
	15:00:00	566	281	770	434	720	550	1136	249	611	59
	16:00:00	555	274	750	437	720	550	1104	235	662	104
	17:00:00	539	266	694	405	720	550	1099	223	569	34
	18:00:00	576	267	693	363	720	550	1145	228	630	25
	19:00:00	701	292	1178	429	1100	600	1331	246	938	63
	20:00:00	669	281	1222	432	1150	600	1381	276	1029	106
	21:00:00	628	277	1176	423	1150	600	1353	266	964	55
	22:00:00	631	291	1083	428	1100	600	1272	251	875	49
23:00:00	575	274	938	409	1000	600	1059	203	809	92	
0:00:00	546	269	844	399	900	600	916	165	682	42	
16	1:00:00	511	271	718	377	775	575	819	160	681	93
	2:00:00	494	267	700	375	750	575	781	143	597	42
	3:00:00	489	271	689	378	725	575	760	151	581	41
	4:00:00	490	272	686	374	725	550	756	146	641	74
	5:00:00	495	271	703	381	725	550	721	111	620	77
	6:00:00	501	273	707	383	775	575	706	105	610	24
	7:00:00	375	229	585	327	675	550	641	87	508	-40
	8:00:00	367	199	554	312	675	550	774	118	506	-29
	9:00:00	432	245	667	381	700	520	1057	213	506	-5
	10:00:00	454	223	684	389	700	520	1138	223	571	52
	11:00:00	448	240	709	427	720	550	1218	274	554	30
	12:00:00	468	240	748	440	720	550	1238	282	579	33
	13:00:00	499	259	776	464	720	550	1194	257	637	83
	14:00:00	481	251	767	442	720	550	1256	298	570	29
	15:00:00	472	256	740	446	720	550	1246	323	555	25
16:00:00	471	273	746	484	720	550	1246	319	619	93	
17:00:00	430	271	673	427	700	550	1199	312	526	38	
18:00:00	463	282	769	429	800	550	1323	343	701	77	

	19:00:00	615	287	1208	446	1150	600	1449	310	936	54
	20:00:00	642	271	1251	449	1200	600	1497	303	969	35
	21:00:00	628	277	1245	428	1200	600	1446	319	1046	98
	22:00:00	611	286	1157	428	1100	600	1300	271	904	38
	23:00:00	577	245	1001	381	1000	550	1112	215	777	20
	0:00:00	539	257	875	380	900	550	965	201	715	32
17	1:00:00	488	251	736	364	780	550	845	173	617	27
	2:00:00	480	247	711	352	750	550	807	169	606	25
	3:00:00	475	244	685	341	720	550	794	165	592	20
	4:00:00	468	240	672	337	720	550	783	162	585	18
	5:00:00	470	247	667	335	720	550	778	159	571	10
	6:00:00	470	235	656	337	720	550	809	149	610	-2
	7:00:00	365	200	569	294	700	520	784	130	505	-50
	8:00:00	383	206	547	305	700	520	759	95	489	-36
	9:00:00	443	244	638	389	675	550	1055	193	568	33
	10:00:00	468	231	685	396	675	550	1219	249	514	6
	11:00:00	508	257	752	453	700	550	1280	296	528	10
	12:00:00	463	240	793	481	700	550	1359	325	635	83
	13:00:00	503	276	794	488	750	575	1382	327	586	52
	14:00:00	533	269	783	457	750	575	1373	329	580	47
	15:00:00	481	22	802	472	750	575	1408	378	651	98
	16:00:00	540	313	771	472	750	575	1403	377	570	60
	17:00:00	528	313	714	437	700	550	1384	361	562	59
	18:00:00	500	290	740	411	720	530	1306	292	675	81
	19:00:00	667	320	1223	463	1120	570	1589	358	931	65
	20:00:00	650	316	1291	464	1200	580	1508	328	1077	110
21:00:00	659	321	1257	452	1200	580	1420	302	978	62	
22:00:00	632	312	1172	437	1170	580	1297	267	985	97	
23:00:00	585	293	1004	408	1000	560	1079	222	804	47	
0:00:00	557	294	852	399	900	530	945	175	792	103	
18	1:00:00	508	270	744	381	780	590	799	157	625	32
	2:00:00	489	259	699	367	740	550	773	144	590	20
	3:00:00	477	252	684	360	730	540	748	134	581	15
	4:00:00	469	250	680	355	725	535	737	130	580	14
	5:00:00	467	247	676	351	720	530	730	124	580	14

	6:00:00	453	240	714	332	730	530	766	132	657	59
	7:00:00	381	203	582	297	690	520	759	131	524	47
	8:00:00	355	201	564	316	650	530	807	126	518	33
	9:00:00	427	246	602	371	675	575	1109	243	501	4
	10:00:00	451	230	661	387	675	575	1183	254	503	12
	11:00:00	478	239	681	403	725	550	1281	287	529	3
	12:00:00	375	217	716	420	725	550	1329	334	562	30
	13:00:00	384	225	723	423	725	550	1338	316	591	33
	14:00:00	529	266	736	412	725	550	1343	316	574	38
	15:00:00	498	255	732	408	725	550	1359	314	646	66
	16:00:00	513	259	705	420	725	550	1320	280	574	35
	17:00:00	502	316	706	456	720	560	1310	315	571	64
	18:00:00	494	296	716	433	720	550	1193	260	662	88
	19:00:00	687	311	1234	472	1100	580	1452	293	945	85
	20:00:00	682	319	1281	466	1180	580	1430	285	1008	78
	21:00:00	655	293	1254	446	1150	550	1348	262	1061	118
	22:00:00	651	311	1199	448	1110	580	1344	286	935	68
	23:00:00	606	293	1030	432	980	570	1109	246	876	100
	0:00:00	551	273	870	406	880	550	932	174	727	62
	19	1:00:00	495	255	739	380	750	550	824	151	699
2:00:00		487	251	705	373	720	540	789	149	670	81
3:00:00		486	250	685	370	700	540	766	146	674	80
4:00:00		485	250	682	368	690	540	742	144	673	80
5:00:00		469	254	691	361	690	530	758	140	578	52
6:00:00		411	230	684	340	690	530	753	135	648	61
7:00:00		340	219	591	318	680	520	665	98	600	22
8:00:00		329	202	546	307	640	530	784	114	500	36
9:00:00		403	224	603	337	640	490	1006	175	564	27
010:00		471	224	667	358	640	490	1087	207	504	20
011:00		515	268	702	415	690	520	1227	281	534	29
012:00		510	259	734	416	690	520	1296	292	648	80
013:00		517	264	757	426	700	510	1303	302	578	38
014:00		546	264	761	430	720	510	1307	301	650	96
015:00		578	262	738	417	680	500	1378	331	652	81
016:00		562	262	761	438	690	500	1380	326	594	54

	017:00	506	275	722	432	640	540	1367	353	617	79
	018:00	533	316	732	425	700	580	1333	337	603	58
	019:00	645	297	1206	458	1100	580	1432	315	952	78
	020:00	665	297	1271	451	1190	560	1485	316	1062	110
	021:00	651	300	1270	445	1180	570	1462	298	985	55
	022:00	643	289	1155	432	1140	580	1316	259	912	46
	023:00	611	311	1015	422	1000	580	1033	231	897	107
	0:00:00	590	300	891	414	920	580	945	196	767	65
20	1:00:00	514	250	746	364	780	550	806	151	701	74
	2:00:00	490	246	698	353	710	530	772	14	612	25
	3:00:00	489	245	696	350	700	530	761	146	590	22
	4:00:00	478	244	681	348	700	530	760	145	582	20
	5:00:00	480	243	680	347	700	530	760	145	581	17
	6:00:00	475	237	699	353	720	510	778	136	586	4
	7:00:00	382	189	578	294	670	500	749	114	549	32
	8:00:00	385	194	566	305	630	500	708	89	508	27
	9:00:00	467	228	600	337	680	500	1055	208	537	-5
	10:00:00	510	280	631	377	700	510	1236	287	636	15
	11:00:00	583	310	697	427	680	520	1300	319	558	48
	12:00:00	591	313	734	434	720	530	1339	352	581	50
	13:00:00	561	313	747	435	720	520	1365	319	643	90
	14:00:00	596	297	733	426	720	520	1355	332	600	55
	15:00:00	632	310	757	448	720	520	1407	354	603	52
	16:00:00	613	321	749	454	720	520	1388	355	643	111
	17:00:00	572	315	715	428	700	31	1335	346	558	38
	18:00:00	557	302	783	405	800	560	1334	320	745	112
	19:00:00	713	341	1221	476	1140	600	1613	408	959	92
	20:00:00	699	328	1261	479	1210	600	1500	356	1067	130
21:00:00	702	322	1268	461	1200	590	1453	299	1000	79	
22:00:00	694	300	1173	434	1140	570	1347	296	919	57	
23:00:00	639	291	1003	408	1000	550	1179	244	887	88	
0:00:00	631	306	908	404	950	550	995	210	747	61	
21	1:00:00	589	289	777	384	800	530	888	194	663	55
	2:00:00	565	281	732	375	800	530	852	183	651	48
	3:00:00	547	272	686	362	720	520	795	171	600	33

	4:00:00	536	271	683	360	720	520	776	170	598	35
	5:00:00	520	270	679	259	720	520	815	174	593	35
	6:00:00	586	284	654	391	720	520	809	183	629	35
	7:00:00	404	218	541	317	680	500	770	145	545	19
	8:00:00	425	217	559	319	650	490	822	146	520	-2
	9:00:00	496	255	656	389	700	520	1143	258	525	17
	10:00:00	564	294	725	419	720	520	1133	226	624	93
	11:00:00	623	313	755	441	720	540	1245	298	588	64
	12:00:00	612	310	792	461	720	550	1257	286	612	66
	13:00:00	644	324	808	461	730	560	1248	262	621	75
	14:00:00	668	334	815	464	720	560	1302	322	633	73
	15:00:00	675	344	811	458	720	540	1331	330	728	146
	16:00:00	658	327	766	456	720	540	1304	326	656	104
	17:00:00	646	329	727	443	690	560	1294	322	654	88
	18:00:00	705	335	818	424	780	550	1380	319	754	80
	19:00:00	855	363	1222	481	1120	590	1625	361	1138	163
	20:00:00	792	344	1295	483	1190	580	1584	346	1065	100
	21:00:00	765	318	1280	461	1190	580	1555	343	1045	77
	22:00:00	803	349	1236	469	1150	580	1433	316	1096	146
	23:00:00	749	341	1147	464	1050	590	1224	300	934	91
	0:00:00	709	314	1004	426	970	580	1110	263	921	127
22	1:00:00	667	302	879	405	850	530	956	200	740	67
	2:00:00	651	306	793	403	820	550	926	195	715	69
	3:00:00	593	301	765	400	780	550	856	200	690	74
	4:00:00	581	298	756	398	780	550	841	198	673	65
	5:00:00	563	286	695	372	760	580	839	192	670	64
	6:00:00	546	312	640	401	760	580	826	206	663	74
	7:00:00	443	249	529	335	620	510	766	151	519	8
	8:00:00	474	244	565	353	630	500	851	188	566	13
	9:00:00	572	269	619	350	700	520	1121	214	615	30
	10:00:00	602	282	683	386	700	520	1224	282	625	44
	11:00:00	620	288	729	414	720	520	1228	280	666	63
	12:00:00	617	310	747	440	720	520	1283	330	659	52
	13:00:00	654	331	766	453	720	550	1270	347	678	99
	14:00:00	664	344	771	469	720	560	1238	329	676	103



	15:00:00	681	347	750	474	720	580	1171	284	659	92
	16:00:00	656	338	768	480	720	580	1143	287	641	94
	17:00:00	599	329	720	455	700	580	1111	299	646	85
	18:00:00	628	339	731	446	730	590	1146	290	739	137
	19:00:00	781	344	1227	490	1130	610	1463	338	992	124
	20:00:00	720	322	1300	489	1210	610	1474	327	1028	100
	21:00:00	674	309	1273	481	1200	600	1389	309	1014	94
	22:00:00	658	309	1182	463	1130	600	1361	311	970	94
	23:00:00	666	326	1041	445	1000	600	1254	300	860	90
	0:00:00	607	292	918	417	900	580	1007	217	742	66
23	1:00:00	560	274	794	396	790	550	889	190	696	95
	2:00:00	535	271	758	390	760	550	826	170	691	94
	3:00:00	532	270	730	389	750	540	771	152	690	93
	4:00:00	525	269	711	386	740	540	726	141	690	93
	5:00:00	520	269	704	378	735	540	692	128	662	70
	6:00:00	511	269	665	363	730	540	656	100	620	47
	7:00:00	377	205	568	328	630	510	622	40	504	18
	8:00:00	401	205	597	323	630	510	781	122	525	6
	9:00:00	464	261	670	416	720	540	1037	211	562	22
	10:00:00	494	254	755	421	760	540	1276	323	632	69
	11:00:00	533	267	800	454	750	540	1316	346	614	56
	12:00:00	523	278	804	458	790	560	1323	335	614	74
	13:00:00	532	280	822	472	800	580	1356	334	686	121
	14:00:00	510	261	801	447	800	580	1388	349	607	48
	15:00:00	509	271	768	435	780	550	1317	337	650	91
	16:00:00	493	273	732	432	720	540	1352	355	597	57
	17:00:00	494	285	742	438	690	560	1221	325	576	52
	18:00:00	473	268	764	420	780	560	1224	279	677	110
	19:00:00	684	301	1232	477	1120	600	1492	323	931	97
	20:00:00	680	297	1304	465	1200	600	1440	305	997	83
21:00:00	678	302	1274	453	1220	600	1383	289	1069	120	
22:00:00	692	310	1214	442	1180	580	1407	305	957	72	
23:00:00	662	296	1088	438	1180	580	1183	249	894	67	
	0:00:00	644	283	922	415	1020	650	1120	222	750	65
	1:00:00	587	282	891	398	850	620	905	206	688	64

24	2:00:00	558	289	750	391	800	600	858	196	646	65
	3:00:00	552	282	707	379	800	580	824	198	620	53
	4:00:00	532	270	705	376	780	580	730	148	624	54
	5:00:00	517	255	707	363	750	520	724	134	605	75
	6:00:00	513	256	662	382	760	510	701	125	689	86
	7:00:00	403	208	565	323	720	510	661	72	515	-13
	8:00:00	386	202	582	343	720	500	778	104	535	-8
	9:00:00	481	239	664	383	730	530	1064	182	548	8
	10:00:00	507	274	695	414	750	560	1232	274	669	107
	11:00:00	512	272	723	419	780	560	1291	303	670	93
	12:00:00	544	300	723	41	720	570	1243	301	628	117
	13:00:00	526	299	755	448	740	570	1240	280	598	65
	14:00:00	546	287	781	459	790	570	1235	280	672	110
	15:00:00	554	311	794	481	790	570	1255	289	675	136
	16:00:00	561	320	768	470	810	610	1325	339	646	94
	17:00:00	563	337	752	475	750	600	1220	306	624	101
	18:00:00	552	338	776	469	800	620	1239	309	629	104
	19:00:00	763	351	1260	503	1220	620	1557	329	1068	172
	20:00:00	777	354	1357	509	1300	620	1527	340	1093	117
	21:00:00	726	309	1319	480	1300	620	1536	323	1051	97
22:00:00	706	300	1222	448	1220	580	1417	288	1035	125	
23:00:00	664	305	1135	444	1150	580	1181	253	906	69	
0:00:00	662	297	1091	434	1080	580	1136	242	926	104	
25	1:00:00	640	297	1016	428	1000	590	1063	203	826	77
	2:00:00	624	302	931	438	930	590	917	183	843	126
	3:00:00	602	305	887	436	880	580	851	156	802	120
	4:00:00	588	308	842	435	840	580	788	138	778	117
	5:00:00	570	310	808	433	810	580	732	128	740	114
	6:00:00	544	282	737	418	790	580	726	134	665	69
	7:00:00	420	243	592	358	690	560	633	89	601	56
	8:00:00	446	253	583	348	710	570	717	110	523	12
	9:00:00	480	260	618	362	720	540	866	146	540	28
	10:00:00	519	263	647	384	750	520	954	188	580	44
	11:00:00	528	261	691	406	760	540	980	192	616	54
	12:00:00	536	270	728	419	780	560	1029	214	631	63

26	13:00:00	593	300	786	442	780	560	1081	215	722	131
	14:00:00	589	298	790	436	780	560	1036	210	635	66
	15:00:00	665	326	766	440	780	560	1015	201	640	71
	16:00:00	668	309	782	450	780	560	1006	212	702	121
	17:00:00	627	309	733	436	790	550	1020	209	634	57
	18:00:00	643	298	762	421	790	520	1008	194	647	60
	19:00:00	797	320	1215	466	1140	570	1308	252	1044	139
	20:00:00	819	321	1299	475	1260	580	1309	255	1094	134
	21:00:00	803	353	1284	476	1220	580	1319	265	1047	96
	22:00:00	769	315	1172	438	1180	570	1270	261	984	80
	23:00:00	737	297	1022	420	1050	570	1122	223	877	78
	0:00:00	698	302	932	417	990	570	1004	204	797	72
	1:00:00	647	307	838	415	900	590	891	171	743	83
	2:00:00	618	306	790	410	850	590	850	163	704	82
	3:00:00	611	306	764	404	820	590	803	157	686	82
	4:00:00	592	305	764	404	810	590	751	139	669	66
	5:00:00	573	303	764	404	790	590	710	127	653	60
	6:00:00	552	287	689	415	790	590	716	125	663	64
	7:00:00	439	232	574	343	680	550	638	76	540	3
	8:00:00	468	221	610	357	680	520	767	101	555	5
	9:00:00	564	309	672	402	750	560	1094	190	654	102
	10:00:00	588	315	698	430	780	600	1158	224	670	108
	11:00:00	610	316	726	435	800	600	1209	238	684	112
	12:00:00	647	322	774	445	820	600	1263	262	706	115
13:00:00	668	346	737	446	820	600	1269	266	650	81	
14:00:00	652	321	754	433	780	580	1223	263	645	63	
15:00:00	680	323	760	432	820	600	1300	279	705	126	
16:00:00	668	331	777	466	820	600	1293	282	661	83	
17:00:00	668	343	724	452	760	560	1298	308	634	96	
18:00:00	674	339	768	440	810	580	1224	264	764	127	
19:00:00	865	390	1309	513	1210	600	1508	316	1076	140	
20:00:00	871	381	1349	485	1320	620	1455	301	1133	126	
21:00:00	850	351	1309	469	1290	590	1404	272	1112	96	
22:00:00	835	313	1226	434	1220	540	1306	234	1152	122	
23:00:00	788	308	1074	413	1120	540	1188	218	967	77	

	0:00:00	757	316	942	398	1000	530	1027	190	842	72
27	1:00:00	697	308	819	397	900	580	931	173	846	125
	2:00:00	650	310	780	352	860	580	902	164	802	98
	3:00:00	631	322	761	360	860	580	870	152	756	92
	4:00:00	626	337	750	421	850	580	.	.	700	86
	5:00:00	633	348	738	415	820	600	831	237	685	81
	6:00:00	598	318	742	396	820	600	856	160	676	68
	7:00:00	463	265	553	335	700	560	674	106	860	162
	8:00:00	497	252	582	345	700	560	769	113	674	40
	9:00:00	620	305	707	406	760	540	1130	218	1019	173
	10:00:00	675	323	750	418	780	520	1164	213	625	50
	11:00:00	707	322	781	434	810	560	1286	274	647	67
	12:00:00	743	350	811	448	820	560	1355	306	761	143
	13:00:00	742	354	828	453	820	580	1358	285	702	89
	14:00:00	764	349	824	447	820	530	1445	313	708	83
	15:00:00	781	374	843	479	880	580	1459	384	773	161
	16:00:00	781	378	823	499	820	550	1459	372	718	118
	17:00:00	760	389	774	465	820	600	1413	365	701	107
	18:00:00	760	359	827	445	880	600	1300	273	821	142
	19:00:00	1058	375	1300	474	1220	600	1564	341	1147	167
	20:00:00	1091	391	1351	488	1220	590	1560	322	1164	123
21:00:00	1096	367	1319	461	1200	550	1454	285	1132	102	
22:00:00	1058	360	1248	444	1190	520	1332	250	1171	129	
23:00:00	1052	376	1119	434	1100	530	1206	237	1038	103	
0:00:00	1015	364	1026	423	1050	520	1123	234	1007	132	
28	1:00:00	887	336	835	391	840	510	948	193	864	125
	2:00:00	836	322	802	376	800	500	896	180	830	110
	3:00:00	802	306	764	380	780	500	854	166	790	90
	4:00:00	776	298	741	382	780	500	836	149	746	82
	5:00:00	736	337	756	391	800	510	849	173	711	68
	6:00:00	665	307	614	353	720	510	694	101	715	95
	7:00:00	627	284	578	340	680	500	681	96	576	15
	8:00:00	664	278	587	347	680	500	771	113	609	27
	9:00:00	770	310	702	386	700	510	1099	212	632	46
	10:00:00	877	367	797	471	780	570	1273	278	672	74

	11:00:00	897	405	829	466	800	580	1314	285	758	142
	12:00:00	953	438	913	508	850	590	1397	336	716	126
	13:00:00	997	486	895	524	820	600	1386	335	764	143
	14:00:00	998	447	901	510	820	580	1417	369	774	146
	15:00:00	974	450	870	504	810	580	1403	371	808	161
	16:00:00	984	438	813	496	800	560	1386	361	803	144
	17:00:00	963	430	804	494	800	580	1392	368	804	150
	18:00:00	1052	417	810	449	820	570	1379	321	871	156
	19:00:00	1345	463	1287	502	1200	600	1681	368	1248	205
	20:00:00	1360	472	1381	513	1320	600	1586	336	918	24
	21:00:00	1333	449	1362	494	1320	610	1470	310	1002	94
	22:00:00	1316	440	1317	482	1290	600	1470	299	1175	107
	23:00:00	1224	439	1120	460	1150	600	1217	266	1130	165
29	0:00:00	1206	438	1058	450	1100	600	1186	260	1030	126
	1:00:00	1110	402	923	414	980	570	1017	214	915	90
	2:00:00	1086	395	871	408	950	570	978	211	876	92
	3:00:00	1003	391	805	404	910	570	930	197	825	95
	4:00:00	975	382	772	369	880	570	896	182	819	96
	5:00:00	900	376	762	355	860	570	877	178	785	101
	6:00:00	894	368	725	392	850	570	871	173	839	143
	7:00:00	715	306	566	332	730	520	715	104	626	24
	8:00:00	806	323	583	337	720	520	825	137	640	28
	9:00:00	864	336	628	354	760	520	1051	209	675	42
	10:00:00	984	368	674	381	760	520	1159	255	789	110
	11:00:00	979	387	716	400	800	550	1234	291	709	73
	12:00:00	990	439	768	451	820	580	1306	328	765	112
	13:00:00	1002	423	819	467	820	600	1283	315	838	170
	14:00:00	1046	430	798	474	820	590	1259	313	878	176
	15:00:00	994	417	792	464	810	580	1269	326	850	171
	16:00:00	985	410	792	471	820	580	1238	310	799	140
	17:00:00	1027	437	741	454	780	600	1121	274	841	140
	18:00:00	1063	428	817	459	830	610	1182	246	938	196
	19:00:00	1310	439	1287	501	1230	610	1467	307	1333	214
	20:00:00	1336	453	1376	498	1330	640	1506	315	1384	221
21:00:00	1261	453	1353	499	1320	630	1448	305	1264	169	

	22:00:00	1221	415	1295	495	1240	600	1420	301	1243	142
	23:00:00	1233	398	1174	456	1140	590	1239	255	1233	171
30	0:00:00	1159	308	1030	431	1040	590	1107	221	1056	135
	1:00:00	1044	393	906	432	950	580	1014	207	958	137
	2:00:00	953	380	840	419	900	580	956	185	957	168
	3:00:00	946	380	819	417	890	580	887	183	943	141
	4:00:00	931	378	803	415	880	580	865	179	843	122
	5:00:00	880	357	781	405	830	560	849	176	811	121
	6:00:00	873	364	745	431	860	570	846	166	804	120
	7:00:00	708	306	609	356	780	530	836	145	767	99
	8:00:00	828	331	630	361	720	510	828	134	676	40
	9:00:00	935	354	669	373	750	520	1011	177	762	67
	10:00:00	997	402	724	436	780	540	1163	243	829	150
	11:00:00	1041	436	806	459	800	580	1335	324	844	172
	12:00:00	1102	456	817	469	840	600	1385	339	839	168
	13:00:00	1009	449	826	481	850	600	1409	344	806	150
	14:00:00	1036	451	803	471	840	600	1390	350	784	138
	15:00:00	1114	485	775	475	800	600	1390	357	791	135
	16:00:00	1084	483	788	490	810	600	1392	375	894	201
	17:00:00	1076	453	748	453	760	580	1305	295	898	195
	18:00:00	1080	452	838	452	900	630	1305	286	892	151
	19:00:00	1338	450	1281	485	1240	620	1566	314	1271	169
	20:00:00	1341	438	1392	485	1340	620	1586	313	1343	161
	21:00:00	1341	435	1397	493	1340	610	1532	308	1326	163
	22:00:00	1335	435	1342	482	1320	600	1418	284	1352	195
23:00:00	1327	436	1234	470	1300	600	1353	302	1238	152	
31	0:00:00	1115	393	1020	441	1205	580	1223	298	1195	142
	1:00:00	1084	392	907	420	993	580	1150	210	1020	135
	2:00:00	1059	398	869	416	980	600	940	196	950	130
	3:00:00	975	375	838	413	950	600	919	193	900	127
	4:00:00	989	370	802	412	920	590	925	200	894	129
	5:00:00	925	377	792	410	900	590	895	200	841	118
	6:00:00	781	337	632	370	890	590	828	156	829	119
	7:00:00	798	339	601	351	820	580	855	184	703	48
	8:00:00	854	356	637	368	780	560	906	149	729	78

9:00:00	951	374	702	417	810	580	1055	210	749	87
10:00:00	1012	441	755	465	830	520	1205	286	882	170
11:00:00	1021	434	809	461	830	520	1330	304	867	170
12:00:00	1032	433	824	461	830	520	1360	342	888	178
13:00:00	1023	454	834	488	850	630	1308	340	843	152
14:00:00	1067	468	817	477	830	620	1277	319	818	148
15:00:00	1020	452	815	474	830	620	1306	328	850	150
16:00:00	1059	459	771	464	830	620	1286	317	851	145
17:00:00	1109	454	792	475	830	620	1280	318	931	192
18:00:00	1093	443	812	457	880	600	1267	276	1000	179
19:00:00	1452	483	1350	511	1300	620	1640	355	1391	204
20:00:00	1554	487	1473	510	1480	620	1666	367	1521	179
21:00:00	1461	464	1467	507	1420	620	1578	351	1502	183
22:00:00	1360	431	1332	472	1400	620	1434	311	1372	167
23:00:00	1292	447	1179	456	1300	620	1305	299	1228	158
0:00:00	1220	443	1150	451	1250	620	1230	288	1136	150

**Tabla AX.X** Historial de carga de las alimentadoras de la Subestación Playas en el mes de Diciembre del 2013

### Anexo 1.b

DIAS	CDLA. VICTORIA		CENTRAL PLAYAS		ENGABAO		SECTOR CENTRO		INTERCONEXION	
	KW	KVAR	KW	KVAR	KW	KVAR	KW	KVAR	KW	KVAR
1	662	290	1170	410	1200	550	1274	234	917	44
2	640	306	1255	440	1250	600	1334	266	1000	66
3	628	310	1236	423	1250	600	1355	271	978	37
4	647	313	1247	459	1275	625	1375	280	1001	102
5	660	322	1303	479	1250	610	1406	285	1022	70
6	703	322	1278	454	1280	620	1420	288	1024	71
7	762	325	1286	457	1250	600	1355	246	1088	110
8	636	322	1248	446	1250	600	1344	268	947	57
9	606	305	1272	457	1200	600	1358	260	980	55
10	642	304	1325	475	1200	600	1414	280	970	62
11	665	299	1296	463	1250	625	1423	281	980	50
12	673	301	1551	446	1250	600	1400	279	992	55
13	712	328	1275	457	1220	600	1418	276	1015	56
14	738	303	1218	430	1180	580	1346	253	1088	120
15	669	281	1222	432	1150	600	1381	276	1029	106
16	628	277	1245	428	1200	600	1446	319	1046	98
17	650	316	1291	464	1200	580	1508	328	1077	110
18	682	319	1281	466	1180	580	1430	285	1008	78
19	665	297	1271	451	1190	560	1485	316	1062	110
20	699	328	1261	479	1210	600	1500	356	1067	130
21	855	363	1222	481	1120	590	1625	361	1138	163
22	720	322	1300	489	1210	610	1474	327	1028	100
23	678	302	1274	453	1220	600	1383	289	1069	120
24	777	354	1357	509	1300	620	1527	340	1093	117
25	819	321	1299	475	1260	580	1309	255	1094	134
26	871	381	1349	485	1320	620	1455	301	1133	126
27	1091	391	1351	488	1220	590	1560	322	1164	123
28	1345	463	1287	502	1200	600	1681	368	1248	205
29	1336	453	1376	498	1330	640	1506	315	1384	221
30	1341	438	1392	485	1340	620	1586	313	1343	161
31	1554	487	1473	510	1480	620	1666	367	1521	179

**Tabla AX.X** Historial de carga (máxima demanda) de las alimentadoras de la Subestación Playas en el mes de Diciembre del 2013



### Anexo 1.c

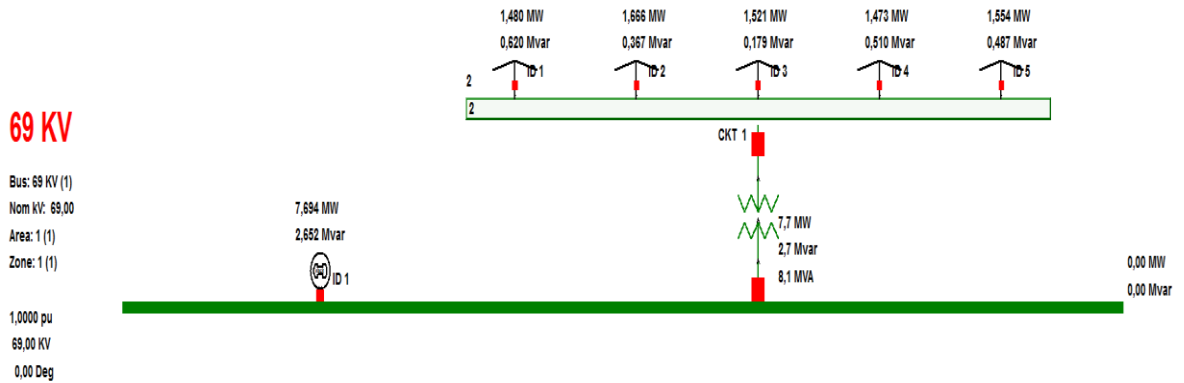
DIAS	CDLA. VICTORIA		CENTRAL PLAYAS		ENGABAO		SECTOR CENTRO		INTERCONEXION	
	KW	KVAR	KW	KVAR	KW	KVAR	KW	KVAR	KW	KVAR
1	439	250	470	306	700	500	572	68	493	-15
2	358	207	539	281	780	510	615	35	483	-50
3	364	212	534	284	750	500	643	41	481	-51
4	370	206	542	288	750	525	641	41	515	2
5	362	24	577	316	700	500	656	92	501	-33
6	377	212	562	308	700	500	660	46	480	-39
7	397	231	564	315	720	550	633	46	503	-31
8	368	215	548	318	700	550	580	35	501	-22
9	346	215	559	310	750	500	646	19	478	-46
10	355	217	589	319	750	500	718	99	485	-29
11	339	22	15	322	750	550	623	48	484	-30
12	351	28	599	326	700	520	647	51	478	-31
13	374	187	464	277	700	500	623	49	500	-38
14	410	215	13	199	610	500	591	39	478	-42
15	424	240	491	305	625	520	603	77	522	-6
16	367	199	554	312	675	520	641	87	506	-40
17	365	22	547	294	675	520	759	95	489	-50
18	355	201	564	297	650	520	730	124	501	3
19	329	202	546	307	640	490	665	98	500	20
20	382	189	566	294	630	31	708	14	508	-5
21	404	217	541	259	650	490	770	145	520	-2
22	443	244	529	335	620	500	766	151	519	8
23	377	205	568	323	630	510	622	40	504	6
24	386	202	565	41	720	500	661	72	515	-13
25	420	243	583	348	690	520	633	89	523	12
26	439	221	574	343	520	520	638	76	540	3
27	463	252	553	335	700	520	674	106	625	40
28	627	278	578	340	680	500	681	96	576	15
29	715	306	566	332	720	520	715	104	626	24
30	708	306	609	356	720	510	828	134	676	40
31	781	337	601	351	780	520	828	149	703	48

**Tabla AX.X** Historial de carga (mínima demanda) de las alimentadoras de la Subestación Playas en el mes de Diciembre del 2013

## ANEXO 2

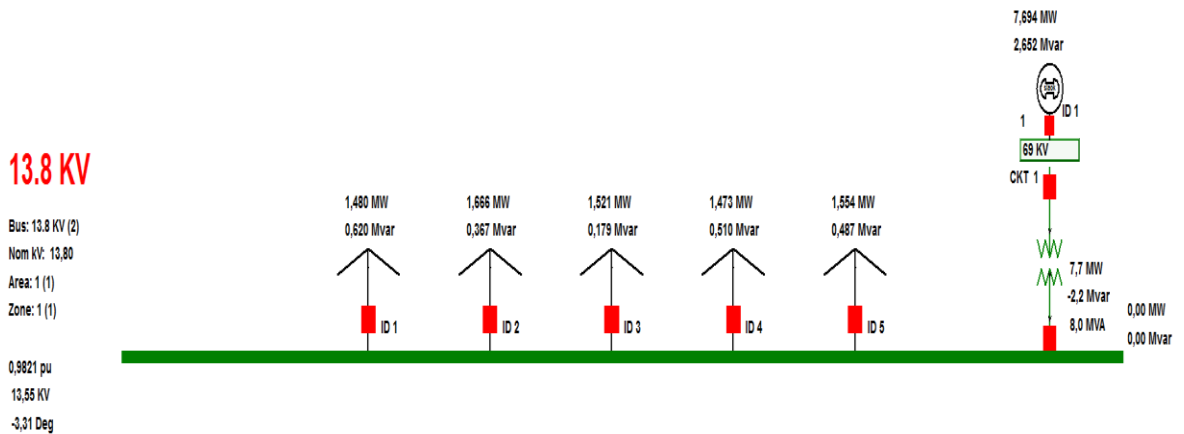
### ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA

#### Anexo 2.a



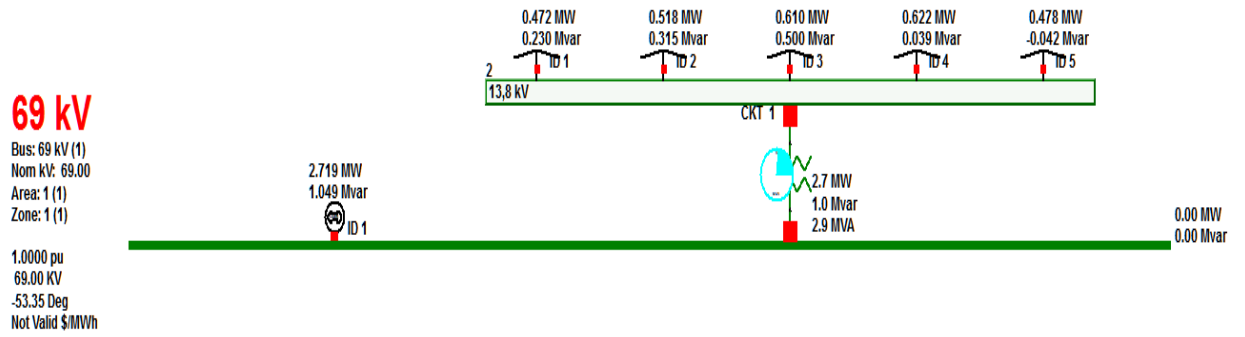
**Figura 2.a** Resultado de la simulación de flujo de carga para el caso de máxima carga en la barra de 69KV

#### Anexo2.b



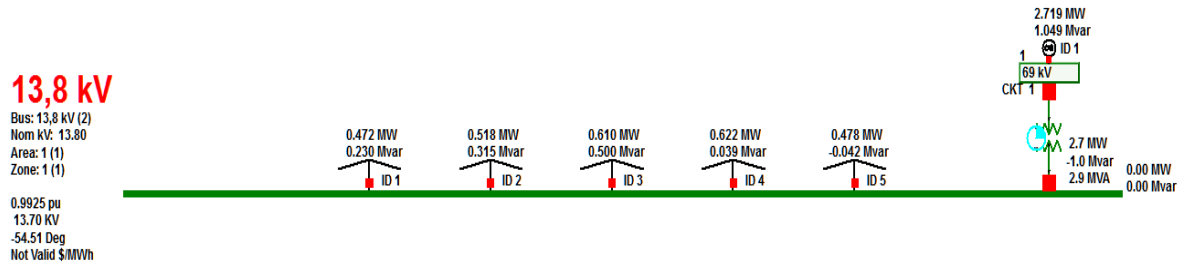
**Figura 2.b** Resultado de la simulación de flujo de carga para el caso de máxima carga en la barra de 13.8KV

## Anexo 2.c



**Figura 2.c** Resultado de la simulación de flujo de carga para el caso de mínima carga en la barra de 69KV

## Anexo 2.d



**Figura 2.d** Resultado de la simulación de flujo de carga para el caso de mínima carga en la barra de 13.8KV

## ANEXO 3

### ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO

Para el estudio de cortocircuito en el capítulo 3 se simularon cuatro tipo de fallas por medio del simulador Power World en las barras de 69 KV y 13.8 KV, para los casos bases de máxima y mínima carga. Las simulaciones se muestran a continuación.

#### Anexo 3.a

#### Falla trifásica – Máxima carga

Falla Trifásica en la barra de 69 KV

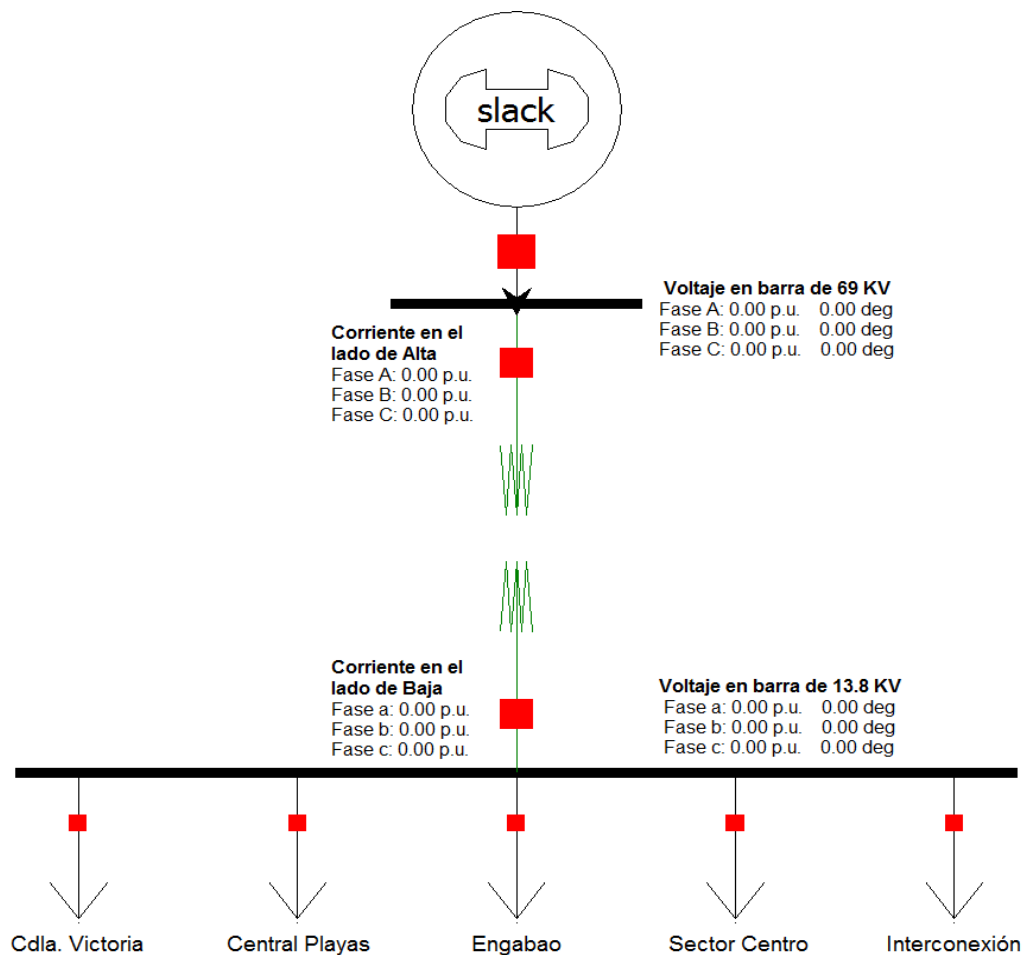


Figura A3.1 Falla Trifásica en la barra de 69 KV

Falla Trifásica en la barra de 13.8 KV

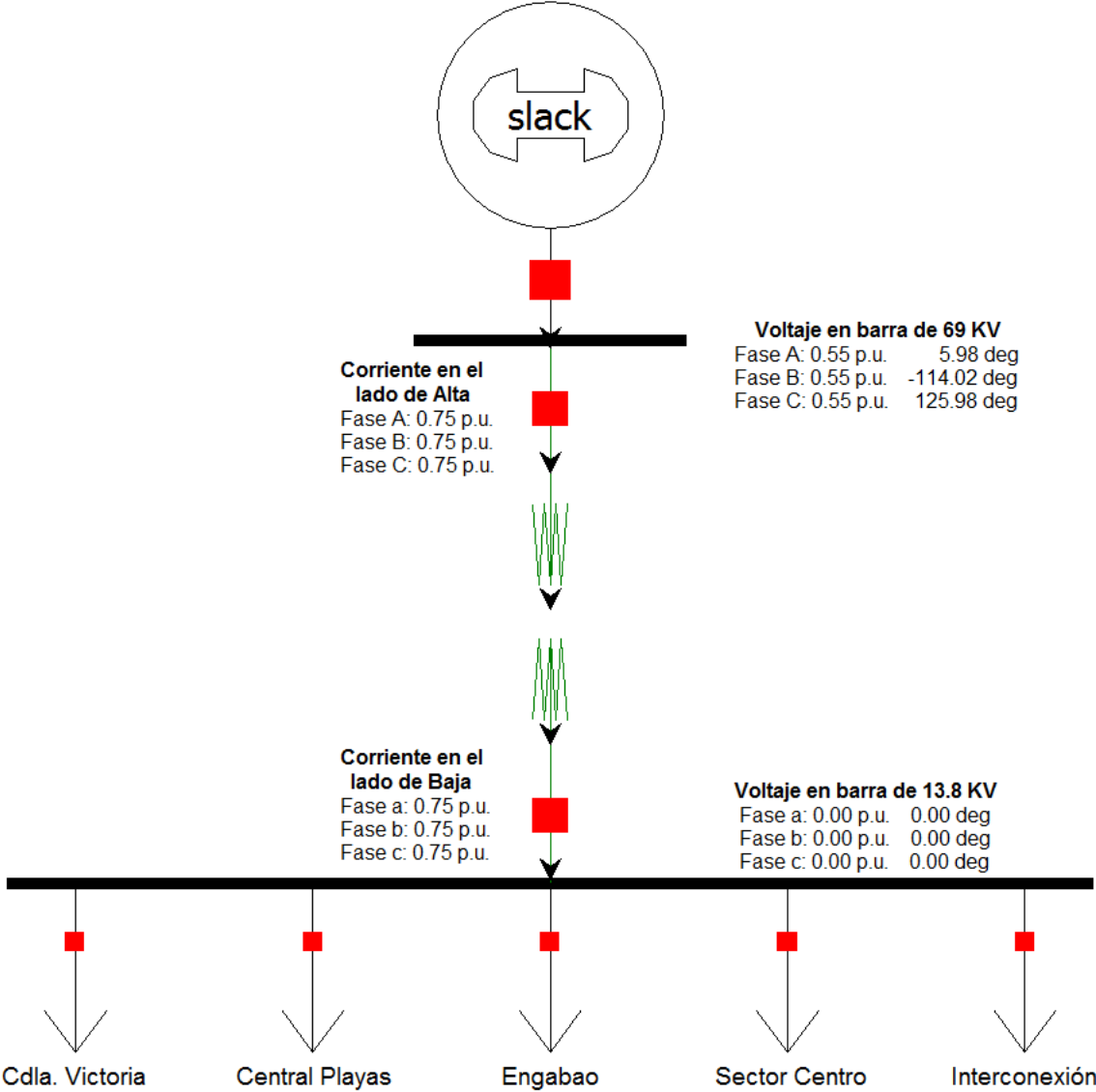


Figura A3.2 Falla Trifásica en la barra de 13.8 KV

### Anexo 3.b

#### Falla de una Línea a Tierra -Máxima carga

Falla de una línea a tierra en la barra de 69 KV

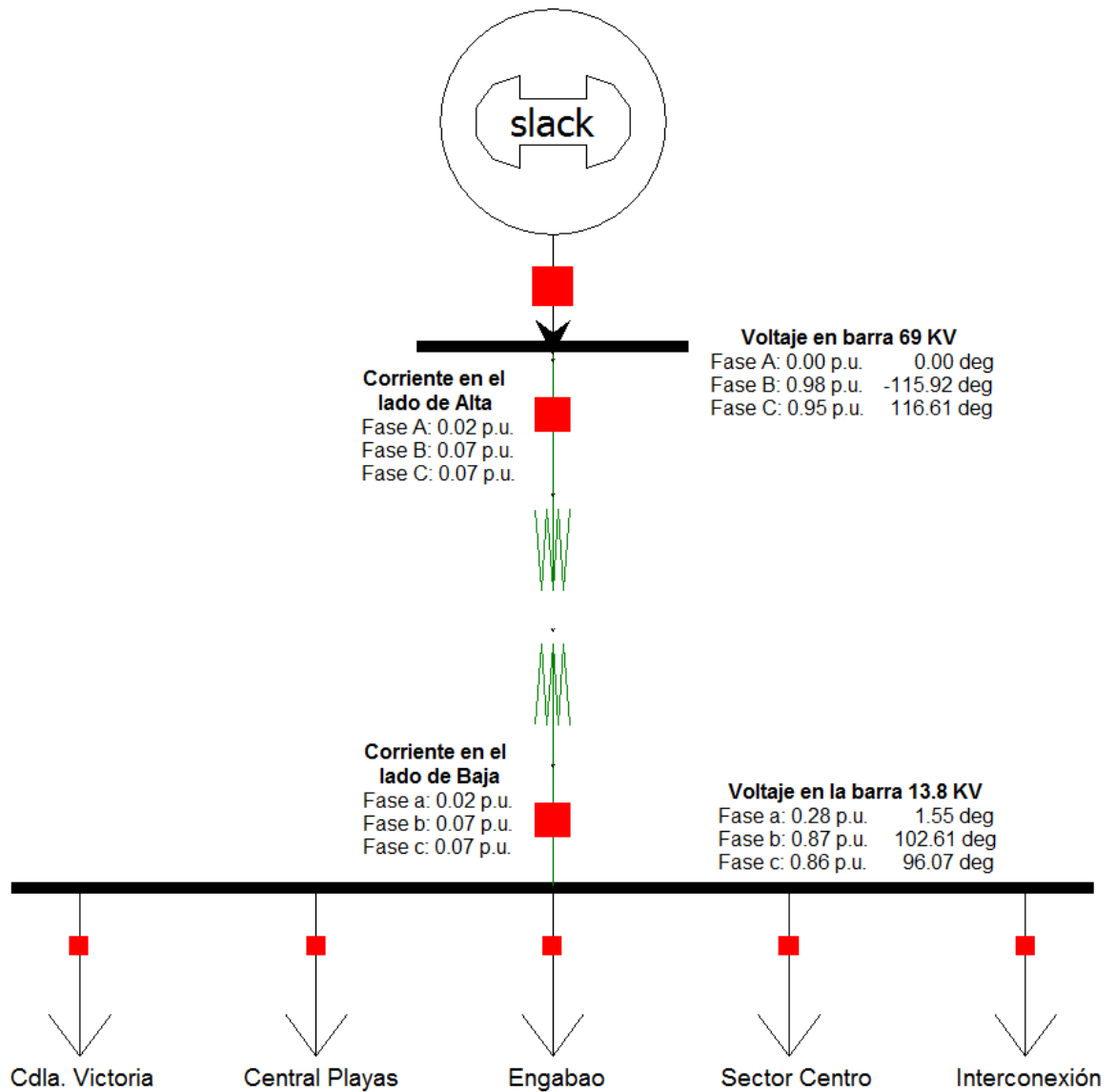


Figura A3.3 Falla de una línea a tierra en la barra de 69 KV

Falla de una línea a tierra en la barra de 13.8 KV

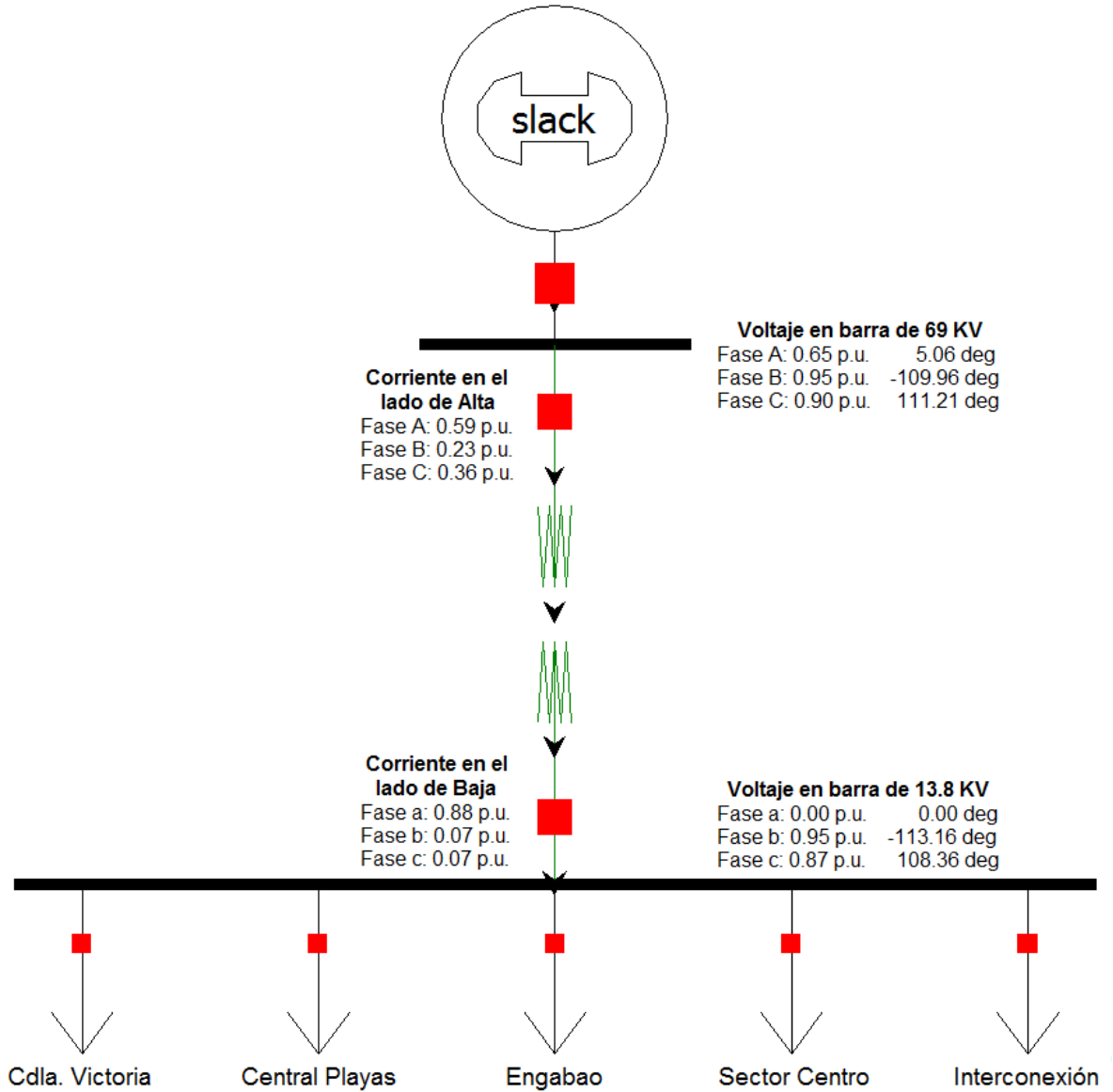


Figura A3.4 Falla de una línea a tierra en la barra de 13.8 KV

### Anexo 3.c

#### Falla de una Línea a Línea - Máxima carga

Falla de Línea a Línea en la barra de 69 KV

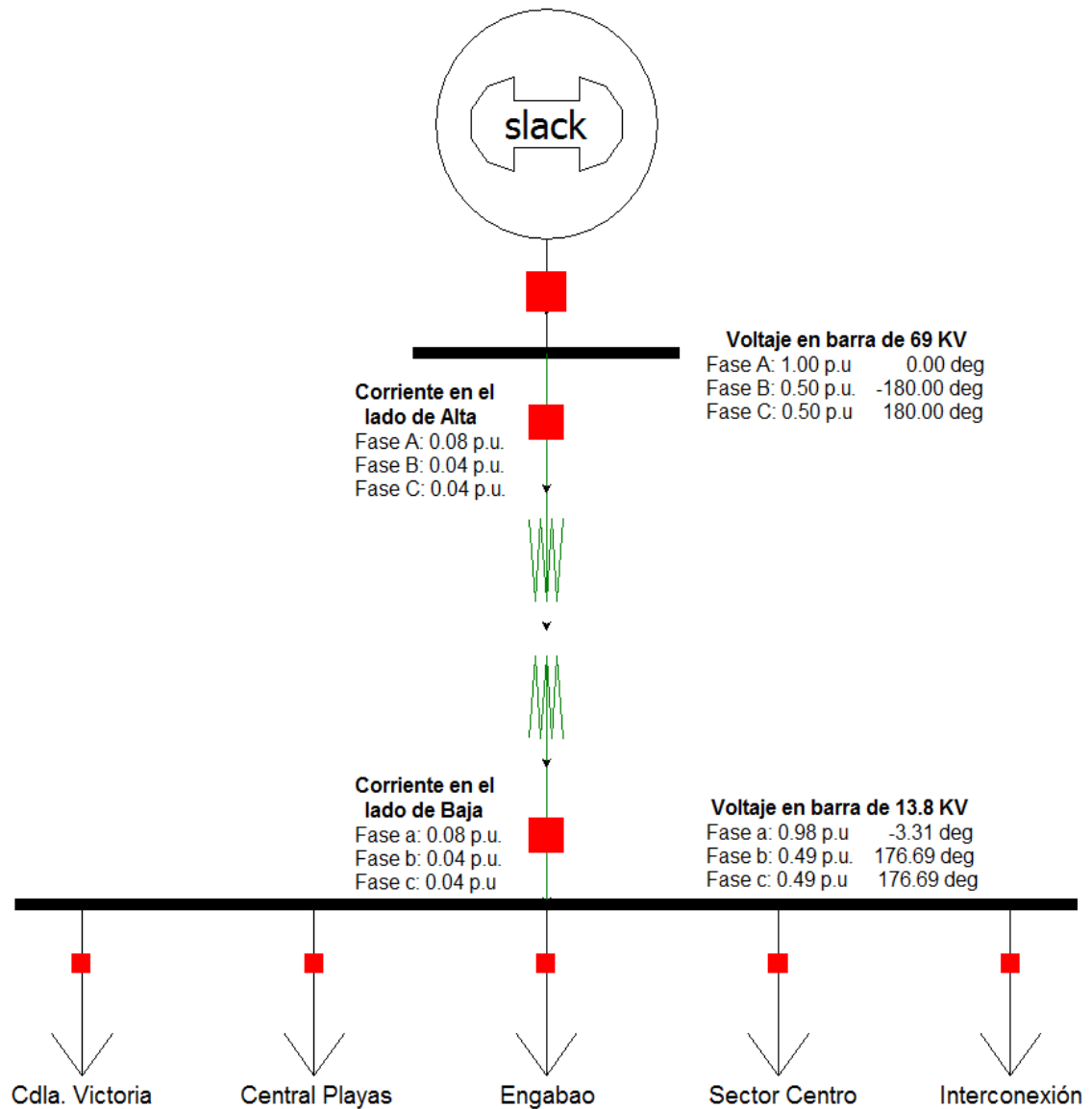
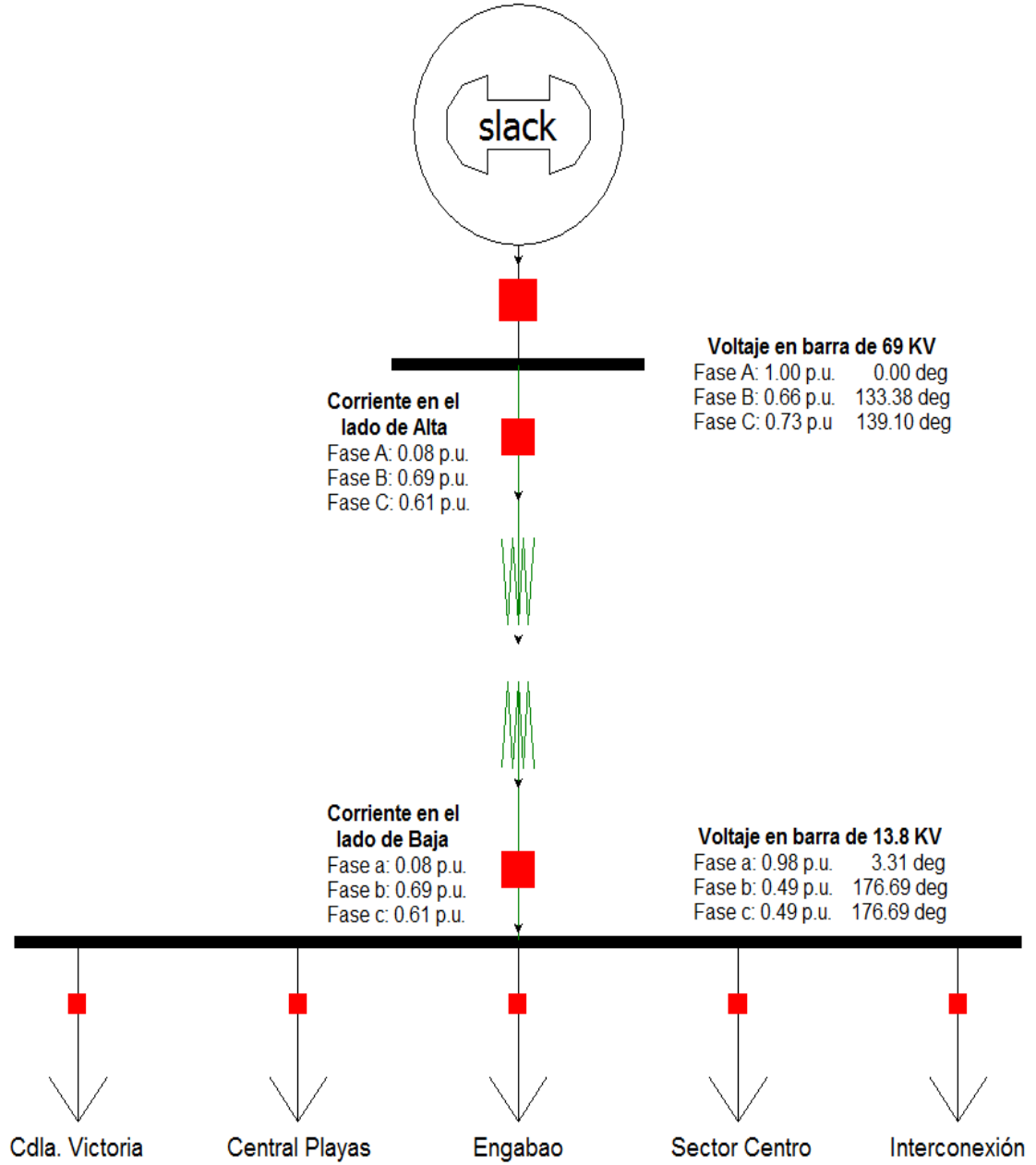


Figura A3.5 Falla de Línea a Línea en la barra de 69 KV



### Falla de Línea a Línea en la barra de 13.8 KV

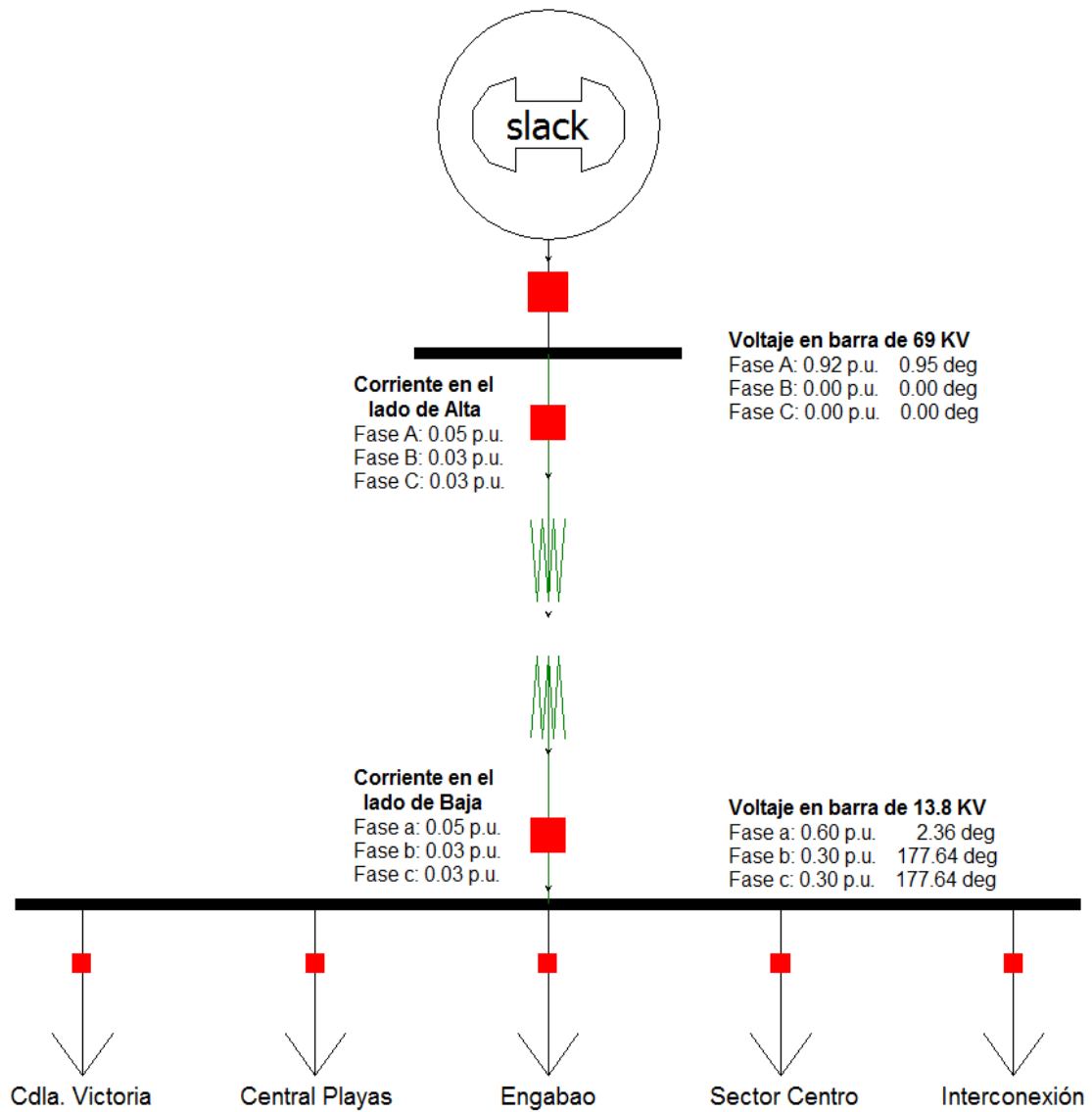


**Figura A3.6** Falla de Línea a Línea en la barra de 13.8 KV

### Anexo 3.d

#### Falla de Línea a Línea a Tierra - Máxima carga

Falla de Línea a Línea a Tierra en la barra de 69 KV



**Figura A3.7** Falla de Línea a Línea a Tierra en la barra de 69 KV

Falla de Línea a Línea a Tierra en la barra de 13.8 KV

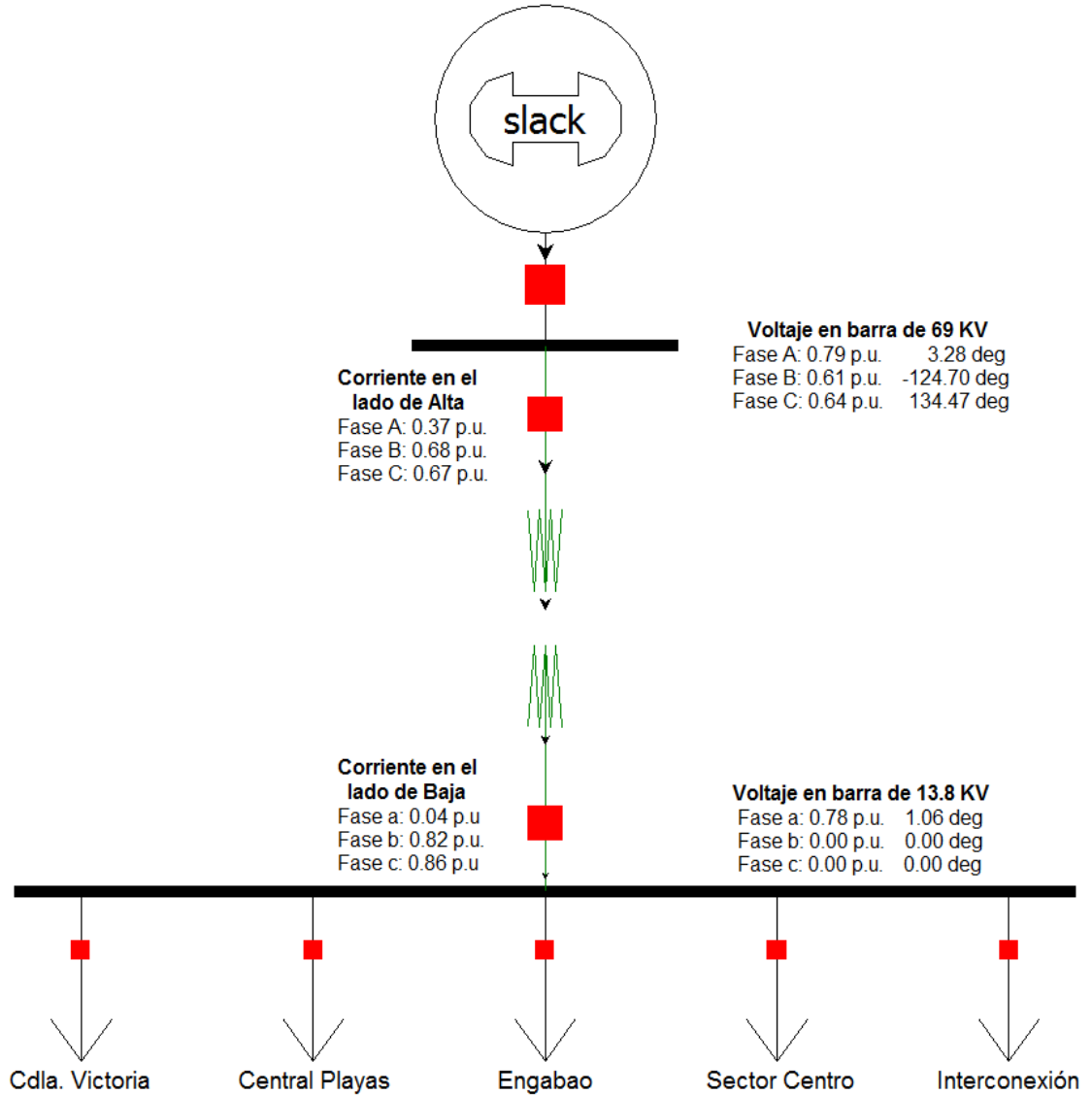
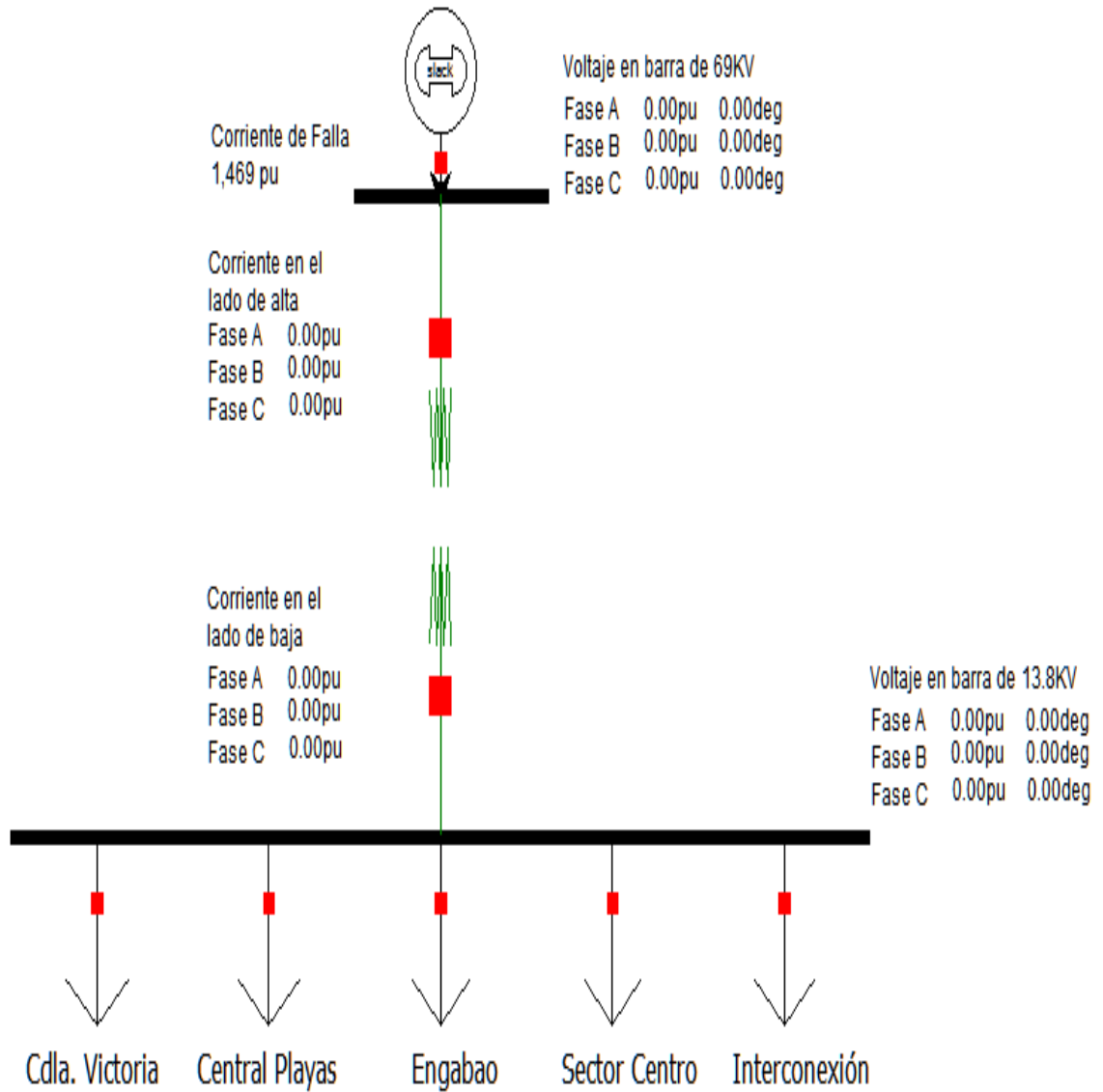


Figura A3.8 Falla de Línea a Línea a Tierra en la barra de 13.8 KV

### Anexo 3.e

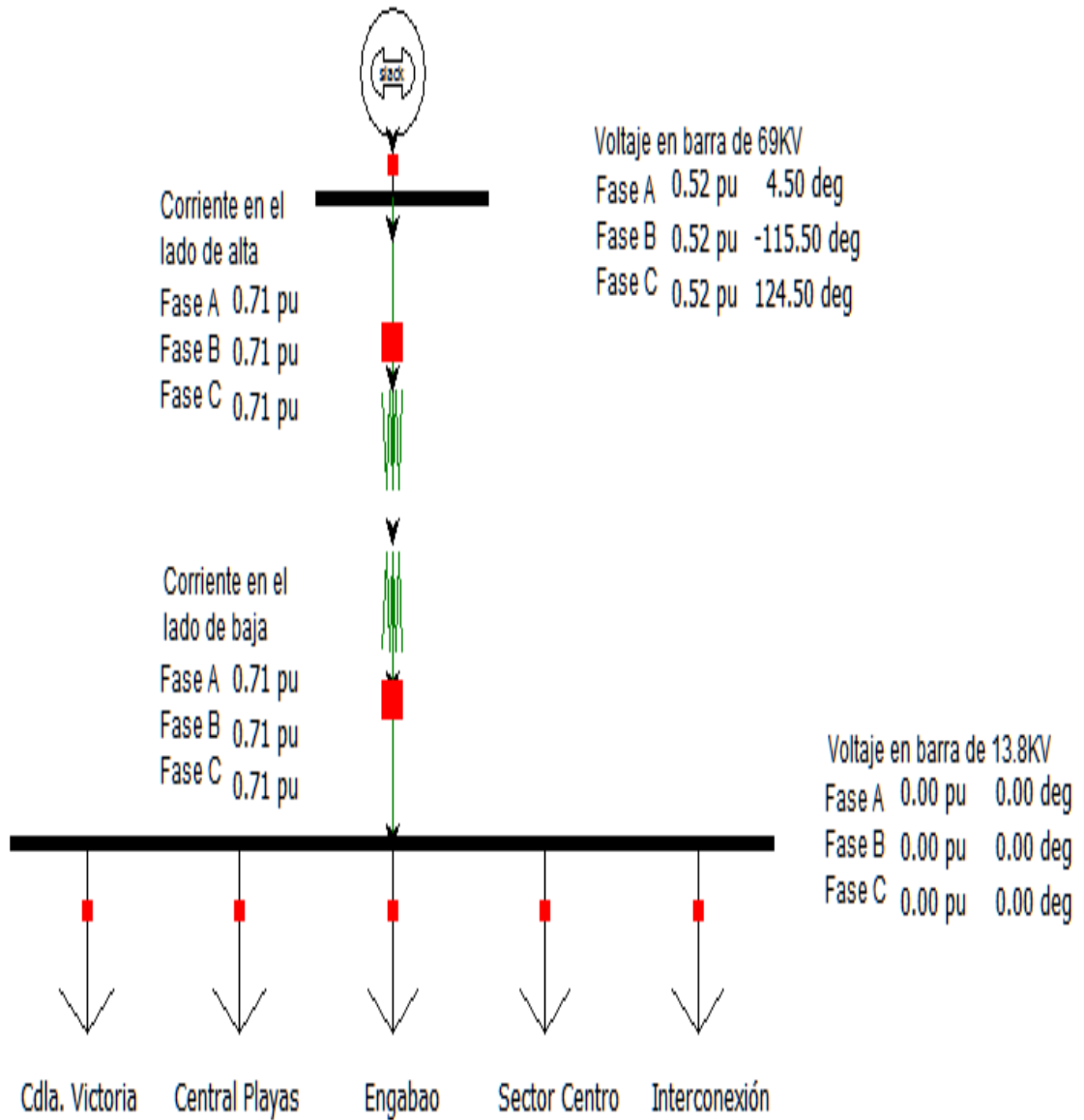
#### Falla trifásica – Mínima carga

Falla Trifásica en la barra de 69 KV



**Figura A3.9** Falla Trifásica en la barra de 69 KV

### Falla Trifásica en la barra de 13.8KV



**Figura A3.10** Falla Trifásica en la barra de 13.8 KV

### Anexo 3.f

#### Falla de una Línea a Tierra -Mínima carga

Falla de una línea a tierra en la barra de 69 KV

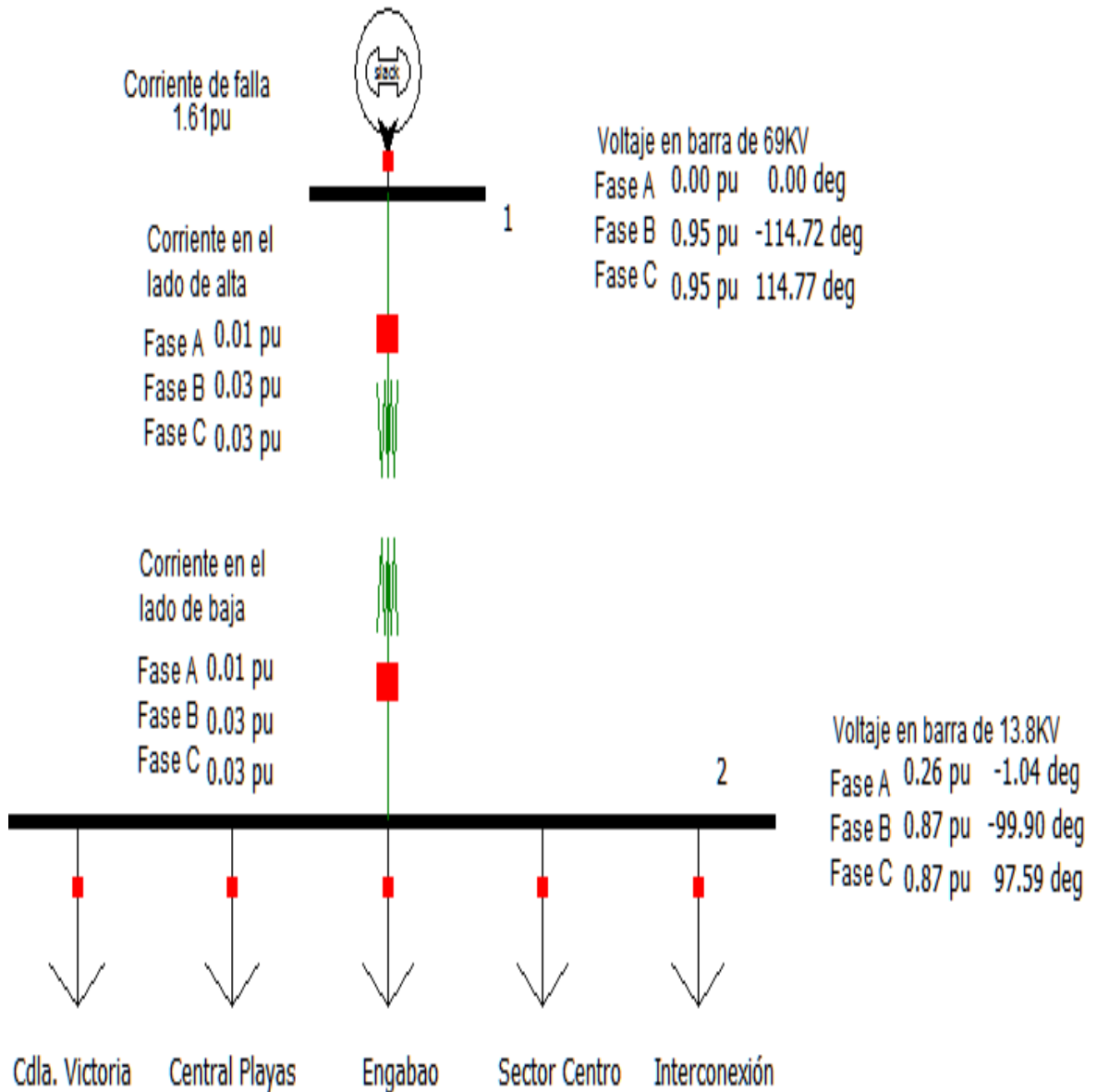
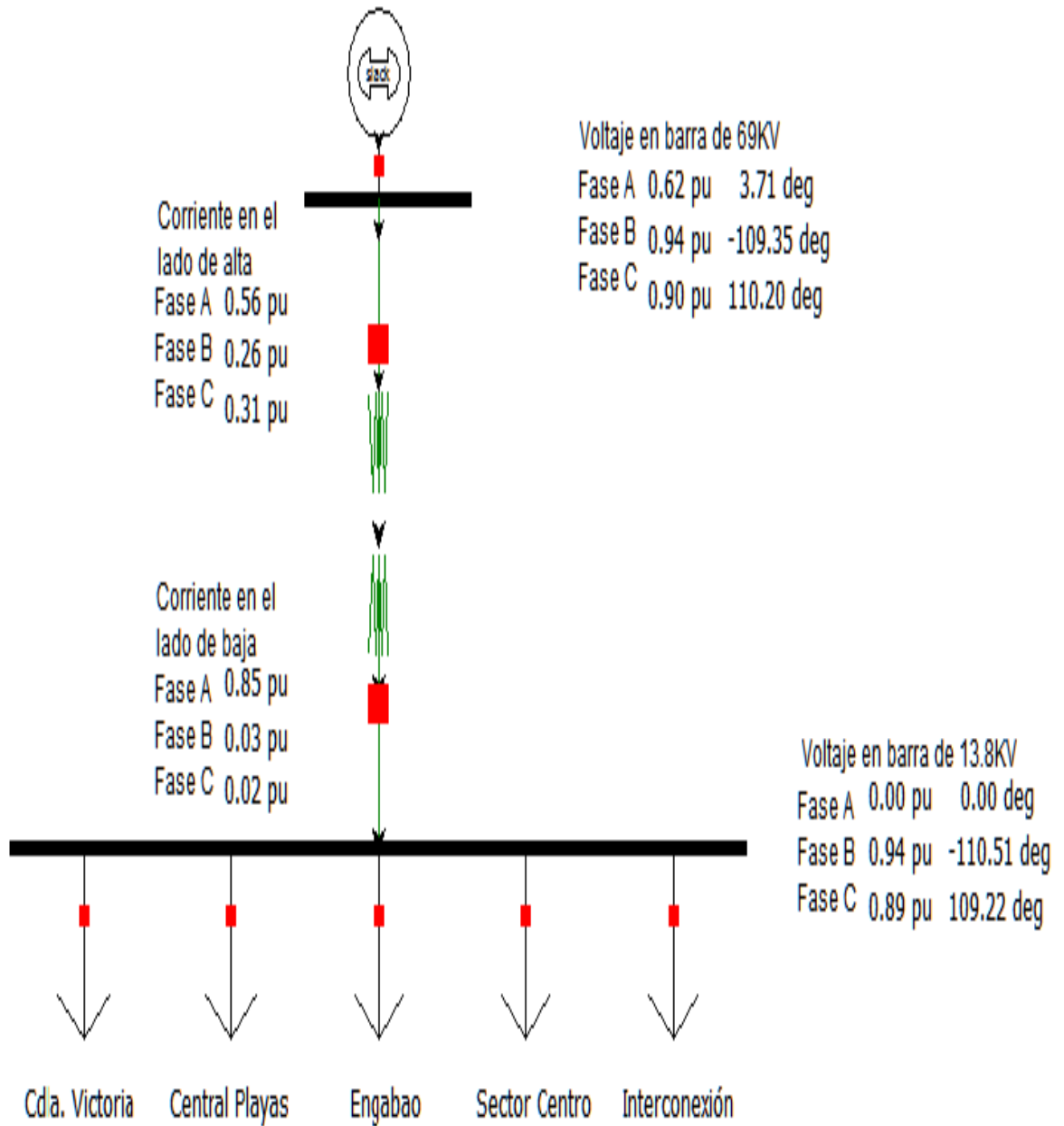


Figura A3.11 Falla Trifásica en la barra de 69 KV

### Falla Trifásica en la barra de 13.8KV



**Figura A3.12** Falla Trifásica en la barra de 13.8 KV

### Anexo 3.g

#### Falla de una Línea a Línea - Mínima carga

Falla de Línea a Línea en la barra de 69 KV

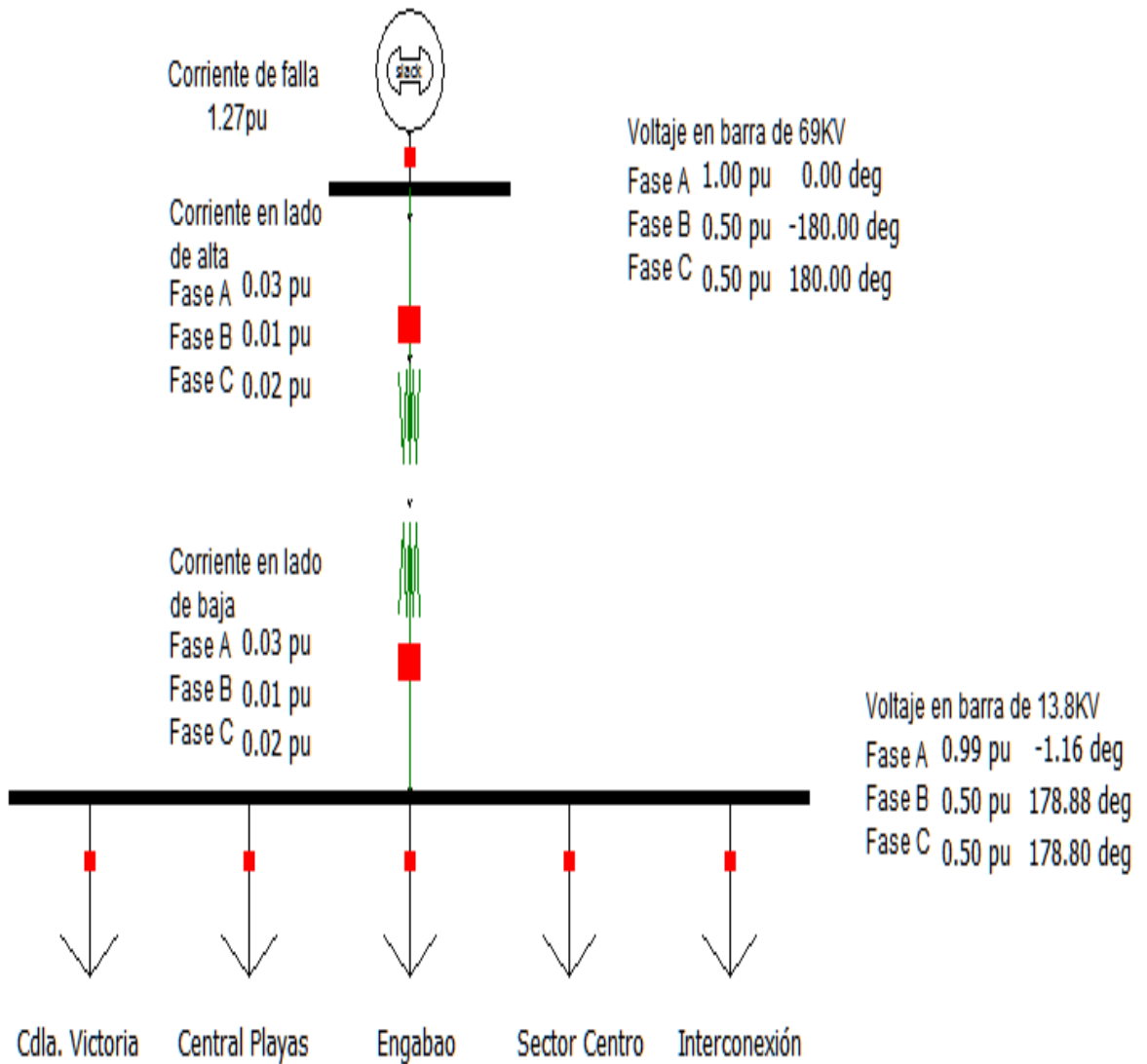
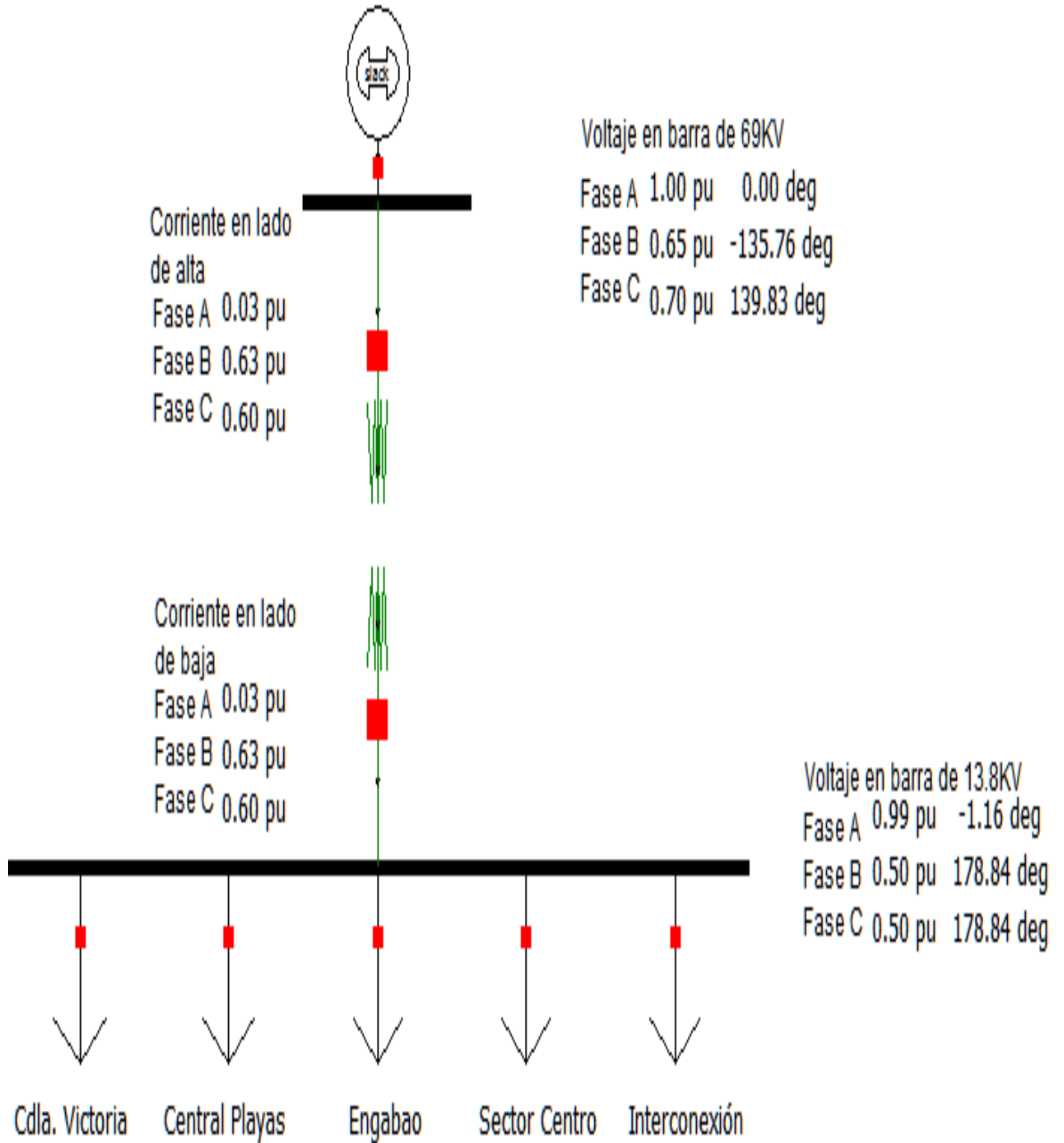


Figura A3.13 Falla de Línea a Línea en la barra de 13.8 KV



Falla de Línea a Línea en la barra de 69 KV

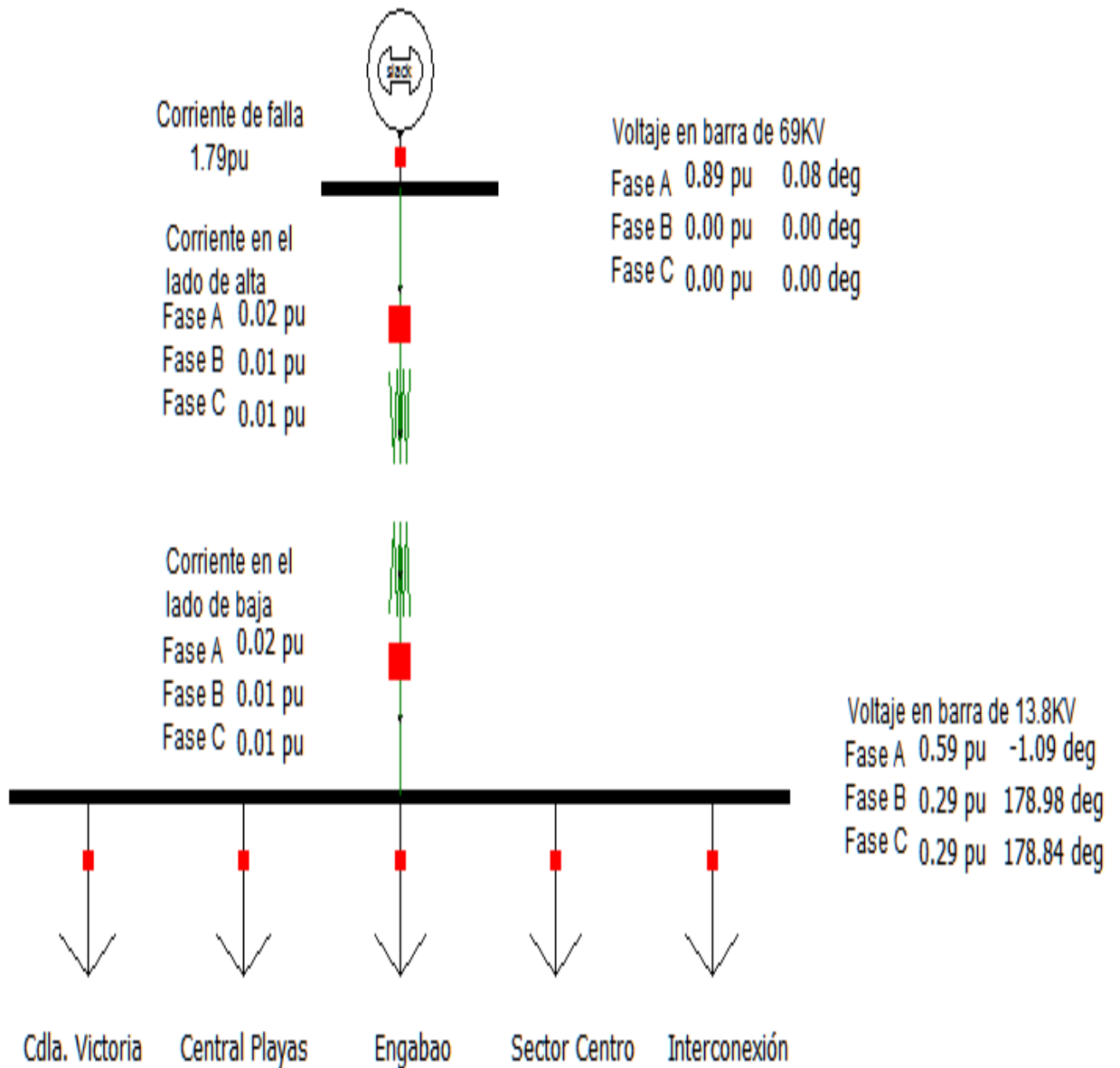


**Figura A3.14** Falla de Línea a Línea en la barra de 13.8 KV

### Anexo 3.h

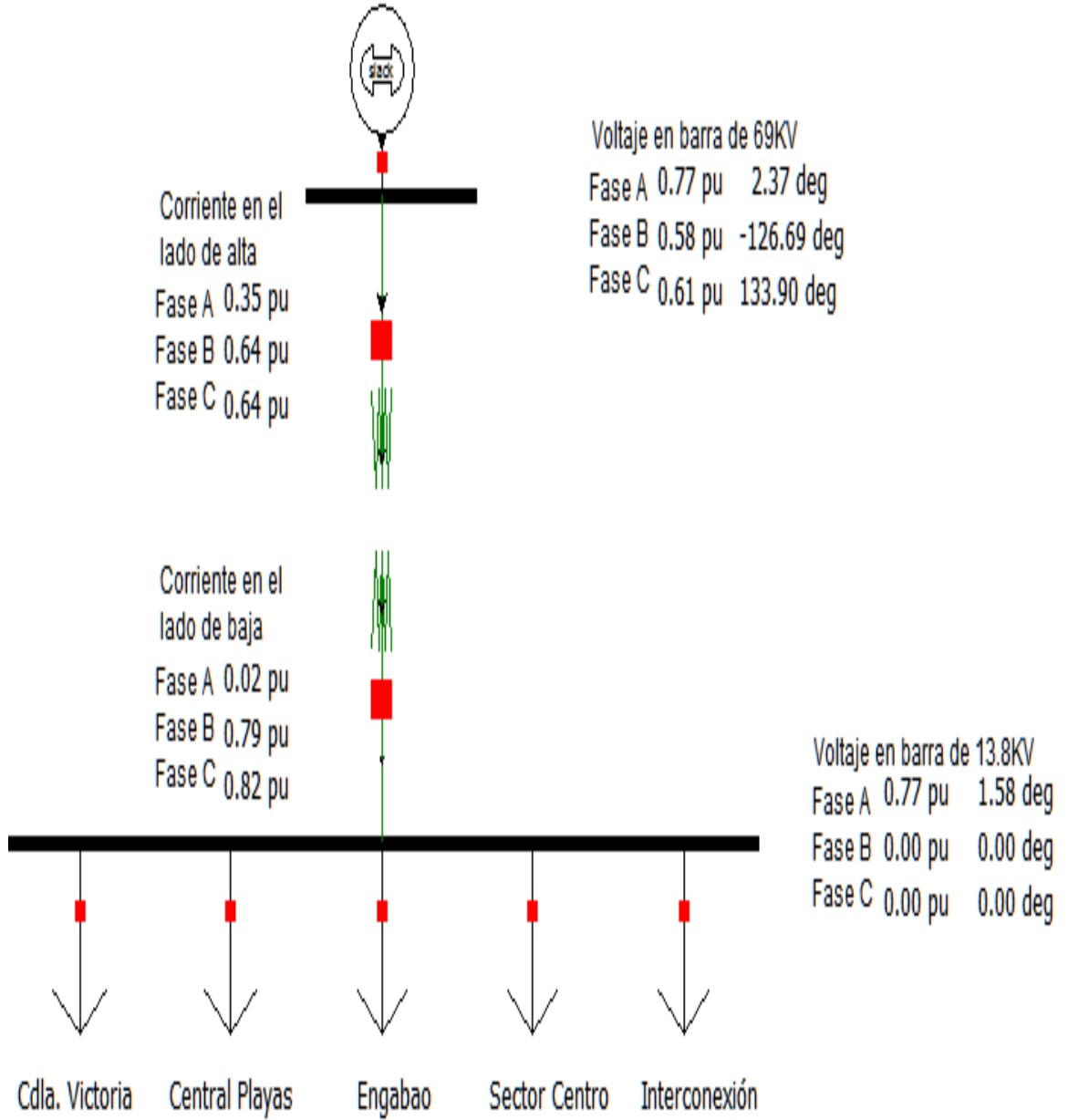
#### Falla de Línea a Línea a Tierra - Mínima carga

Falla de Línea a Línea a Tierra en la barra de 69 KV



**Figura A3.15** Falla de Línea a Línea a Tierra en la barra de 69 KV

Falla de Línea a Línea a Tierra en la barra de 13.8 KV



**Figura A3.16** Falla de Línea a Línea a Tierra en la barra de 13.8 KV

## **ANEXO 4**

### **DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE DAÑO DEL TRANSFORMADOR**

En este anexo se muestra la curva de daño del transformador de Potencia utilizada para el transformador de la S/E Playas, la cuales son descritas en la norma IEEE Std C57.12.00-2000 (Requisitos de normas generales para transformadores de distribución sumergidos en líquido, Poder y Regulación).

Los dispositivos de protección, tales como relés y fusibles, tienen características de funcionamiento bien definidas que relacionan las magnitudes de corriente de falla con su tiempo de operación.

Se desea que las curvas características de estos dispositivos estén coordinadas con las curvas de los transformadores (ver IEEE Std C57.109-1993, [10]) que reflejen su capacidad de resistencia durante una falla. Tales curvas para la Categoría I, II, III, IV y transformadores (se describen en la norma IEEE C57.12.00-2000), son presentadas en este anexo como curvas de protección contra fallas. Estas curvas se aplican a los transformadores diseñados de acuerdo a las normas IEEE Std. C57.12.00-2000. Las curvas de protección de fallas, presentadas en este anexo, toman en consideración que el daño del transformador es acumulativo, y que el número de fallas a las cuales un

transformador puede estar expuesto es diferente para cada una de las diferentes aplicaciones. Por ejemplo, los transformadores con conductores en el lado secundario encerrados en un conducto o aislado de alguna otra manera, que normalmente se encuentran en sistemas de potencia industrial, comercial e institucional, experimentan una baja frecuencia de fallas. En contraste, los transformadores con líneas aéreas conectadas a los devanados secundarios, como los que encontramos en las subestaciones de distribución, tienen una alta incidencia relativa de fallas, y el uso de reconectores o interruptores de recierre automático pueden someter al transformador a repetidas sobrecorrientes debido a la falla.

En el uso de curvas de protección, para seleccionar las características tiempo-corriente de los dispositivos de protección, un ingeniero de protección debe tomar en cuenta no solo el nivel inherente de la incidencia de fallas pero también la ubicación de cada dispositivo de protección y su rol en la protección del transformador. El equipo de protección de la alimentadora del lado secundario es la primera línea de defensa contra fallas experimentadas por los transformadores de potencia y su característica de tiempo-corriente debe ser seleccionada por referencia a la curva de protección de fallas frecuentes. Más específicamente, las características de tiempo-corriente de los dispositivos de protección de las alimentadoras deben estar por debajo y a la izquierda de la

curva de protección apropiada de falla frecuente. El principal dispositivo de protección del lado secundario (si se aplica) y el dispositivo de protección del lado primario típicamente operan para proteger las fallas pasantes en el raro evento de una falla entre el transformador y el dispositivo de protección del alimentadora, o en el raro caso de que un dispositivo de protección del alimentadora falle al operar u opere muy lentamente debido a un incorrecto ajuste (alto) o setting. Las características tiempo-corriente de estos dispositivos deben ser seleccionados para alcanzar la coordinación en referencia a la curva de protección de fallas frecuentes. Además, estas características de tiempo-corriente deben ser seleccionadas para lograr la coordinación deseada entre varios dispositivos de protección.

Para transformadores de Categoría III (1668 KVA a 10000 KVA monofásico, 5001 KVA a 30000 KVA trifásico) se aplican 2 curvas de protección para fallas pasantes. Ver Figura A6.1.

a) La curva de la izquierda refleja las consideraciones de daño térmico y mecánico y puede ser usada para seleccionar las características de tiempo-corriente de los dispositivos de protección del Alimentadora para aplicaciones de fallas frecuentes (por ejemplo, fallas que ocurren más de 5 veces durante la vida útil del transformador). Hay diferentes curvas para diferentes impedancias de transformadores. Las curvas se derivan de

considerar que las corrientes de falla son del 50 al 100 % de la máxima corriente de falla posible y se refleja como  $I^2t = K$ ; K es 2 para el peor caso de servicio mecánico.

b) La curva de la derecha refleja las consideraciones de daño térmico y puede ser usada para seleccionar las características de tiempo-corriente del dispositivo de protección de alimentadoras para aplicaciones de fallas infrecuentes. Esta curva puede también ser usada para seleccionar el principal dispositivo de protección del lado secundario (si se aplica) y las características de tiempo-corriente del principal dispositivo de protección del lado primario para todas las aplicaciones con excepción del nivel anticipado de la incidencia de falla.

La delineación de las aplicaciones de fallas frecuentes versus fallas infrecuentes para transformadores de Categoría II y III pueden estar relacionados a la zona o ubicación de la falla como se muestra en la Figura A5.2. Por conveniencia, las curvas de protección de fallas para transformadores de Categoría I, II, III, IV se resumen en la Tabla A5.1.

Un asunto de coordinación cuando los transformadores delta-estrella son protegidos también está considerado aquí. (El devanado primario está conectado en delta y el devanado secundario está conectado en estrella.)

Asuma que la relación de transformación es 1:1. En el lado secundario, la corriente en cada devanado por fase es la misma que la corriente de la línea. Cuando una falla trifásica ocurre, las corrientes de línea del lado primario son 1.73 veces las corrientes de los devanados primarios.

Cuando sucede una falla de línea a tierra en el lado secundario del transformador, las corrientes de línea en el lado primario son 57.7% de la corriente de línea en el lado primario. Las características de operación del fusible del lado primario o relé deberán ser cambiados a la derecha en los gráficos de coordinación.

Cuando ocurre una falla bifásica en el lado secundario del transformador, la corriente en las fases falladas es 86.6% de la corriente trifásica en el lado secundario. Sin embargo, en el lado primario, la corriente será 100% de la corriente de falla trifásica y el 50% de la corriente de falla trifásica en las otras dos fases. Las curvas aplicables para el lado primario deben estar desplazadas hacia la izquierda en los gráficos de coordinación de falla bifásica.

Los pasos para la coordinación son los siguientes:

- a) Seleccione la categoría de los datos de placa mínimos del devanado principal (75000 KVA es Categoría IV).



- b) Seleccione la impedancia que utiliza para graficar las curvas de la Categoría IV ( $Z$  para 132/13.2 KV= 7.94% a 30000 KVA).
- c) Calcular la “constante K”.

$$K = \left[ I^2 t = \left( \frac{100}{7.94} \right)^2 * 2 \right] \quad (A5.1)$$

$$K = 317,24 \quad \text{en 2s.}$$

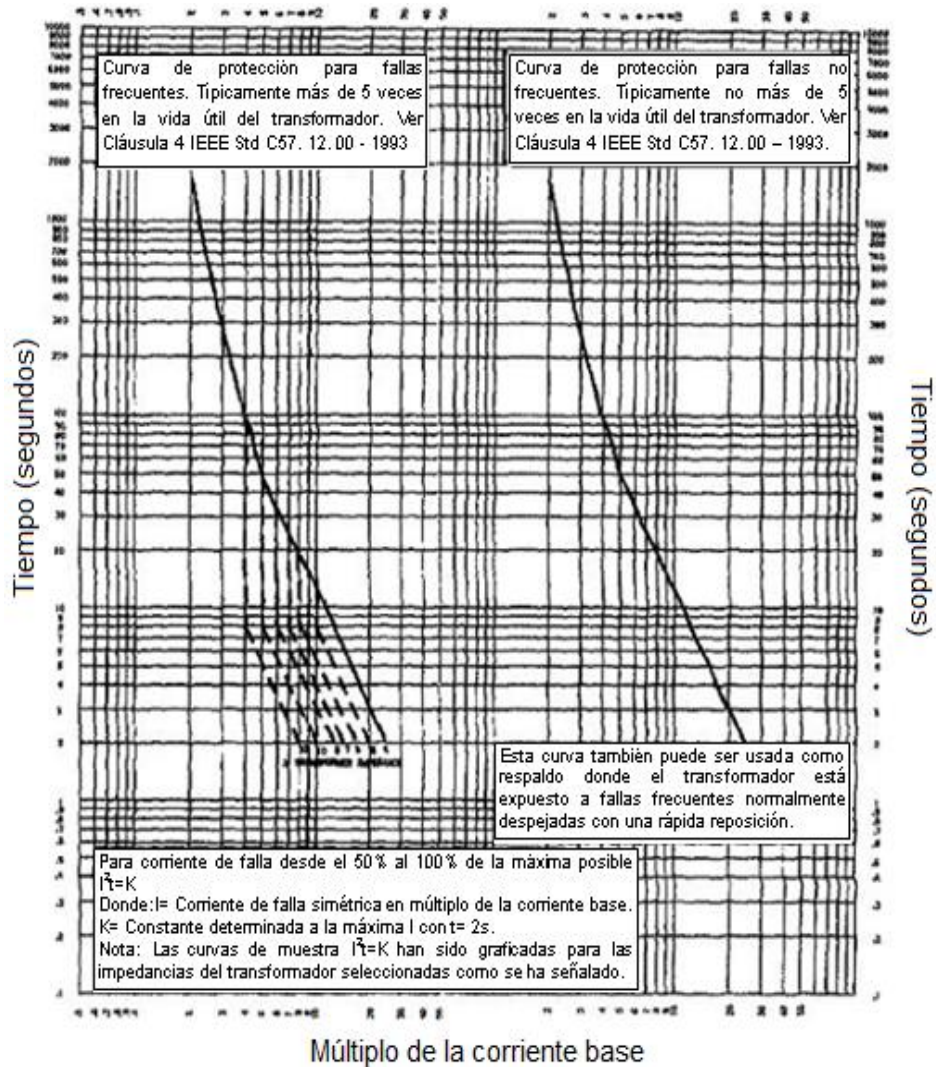
- d) Tiempos de la corriente base normal a 2 s >> 12.59.
- e) El punto del 50% es

$$t = \left[ \frac{317.24}{(12.59/2)^2} \right] = 8s \quad (A5.2)$$

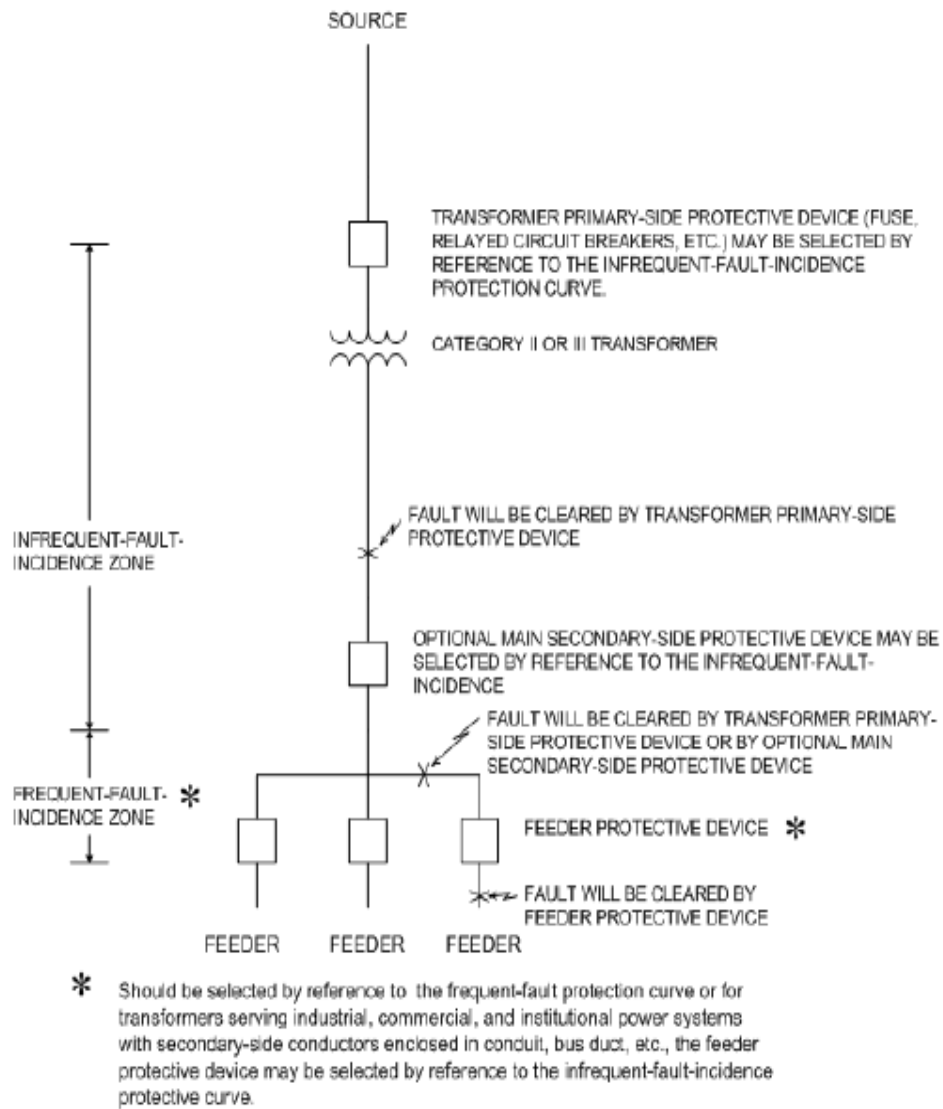
La coordinación de los relés de sobrecorriente para este ejemplo está mostrada en la Figura A5.3.

<b>Categoría</b>	<b>Monofásico (KVA)</b>	<b>Trifásico (KVA)</b>	<b>Curva de protección</b>
I	5 – 500	15 - 500	Figura A.1
II	501 - 1667	501 - 5000	Figura A.2
III	1668 - 10000	5001 - 30000	Figura A4.1
IV	≥ 30000	≥ 30000	Figura A.4

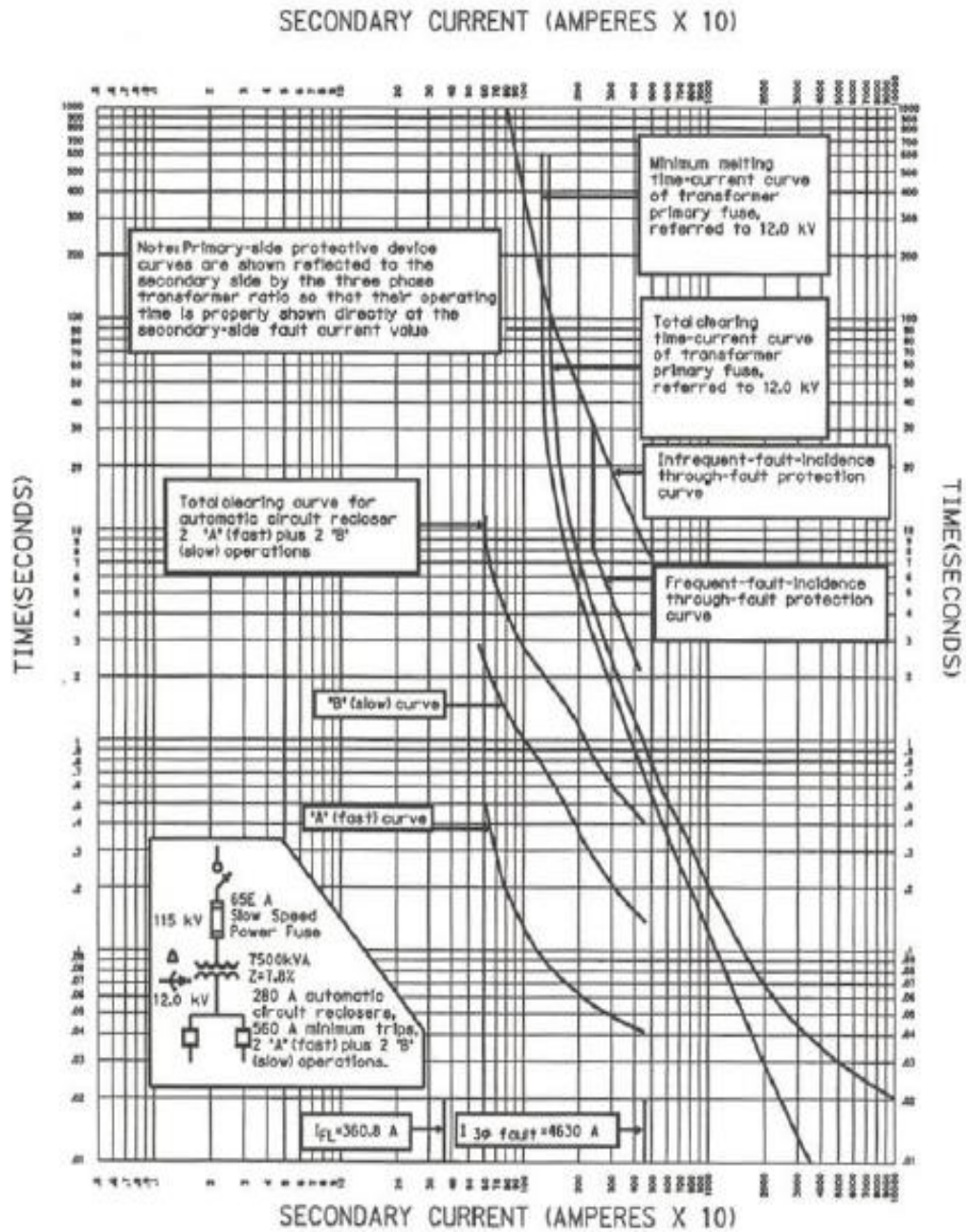
**Tabla A5.1** Resumen de curvas de protección contra fallas; mínimo KVA de los datos de placa del devanado principal.



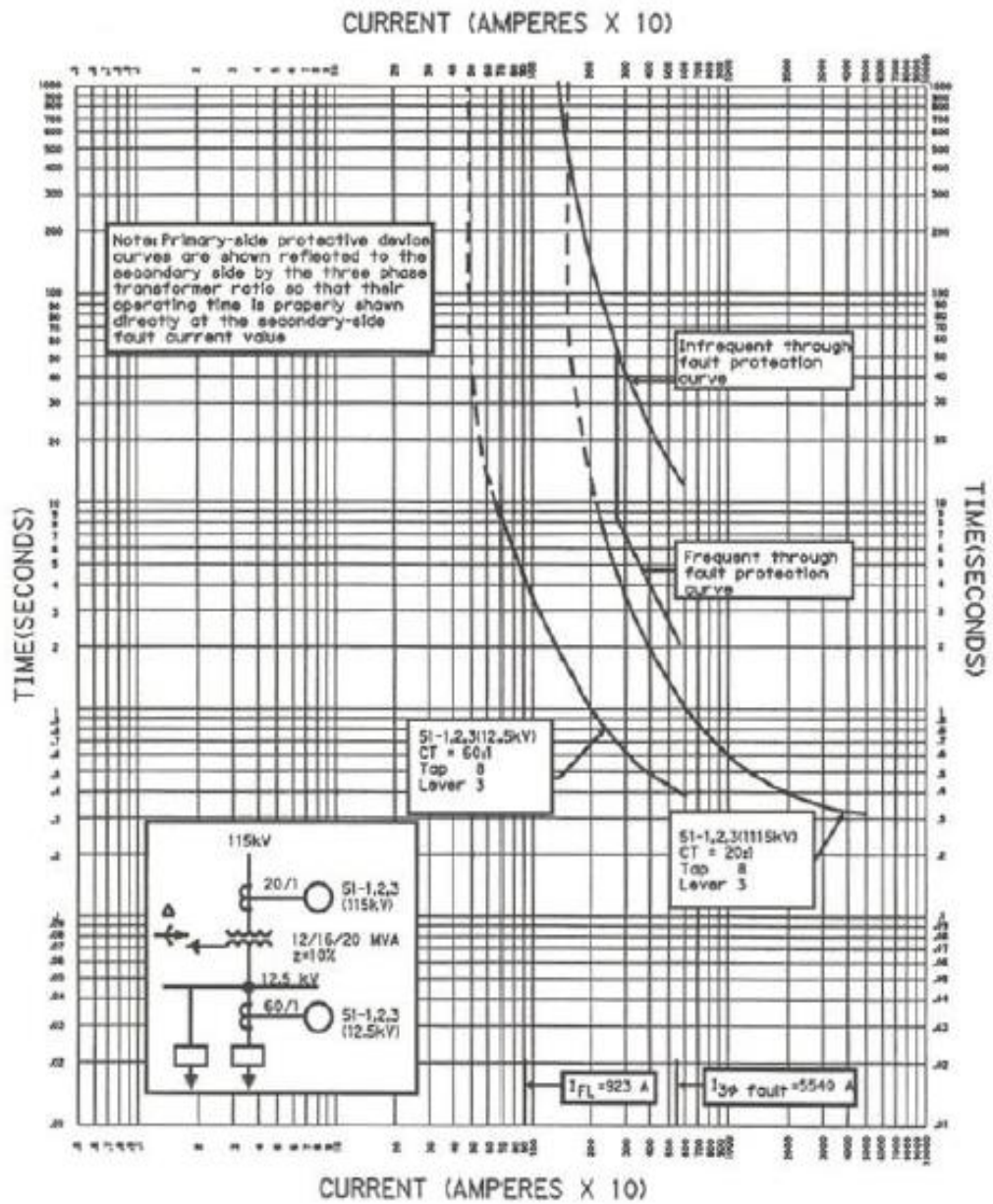
**Figura A5.1** Transformadores de Categoría III: 1668 KVA a 10000 KVA monofásico; 5001 KVA a 30000 KVA trifásico.



**Figura A5.2** Zonas de incidencia de fallas infrecuentes y frecuentes para transformadores de Categoría II y Categoría III.



**Figura A5.3** Protección de un transformador de Categoría III con líneas secundarias aéreas, para una falla trifásica en el lado secundario.



**Figura A5.4** Protección de un transformador de Categoría III para una falla trifásica secundaria.

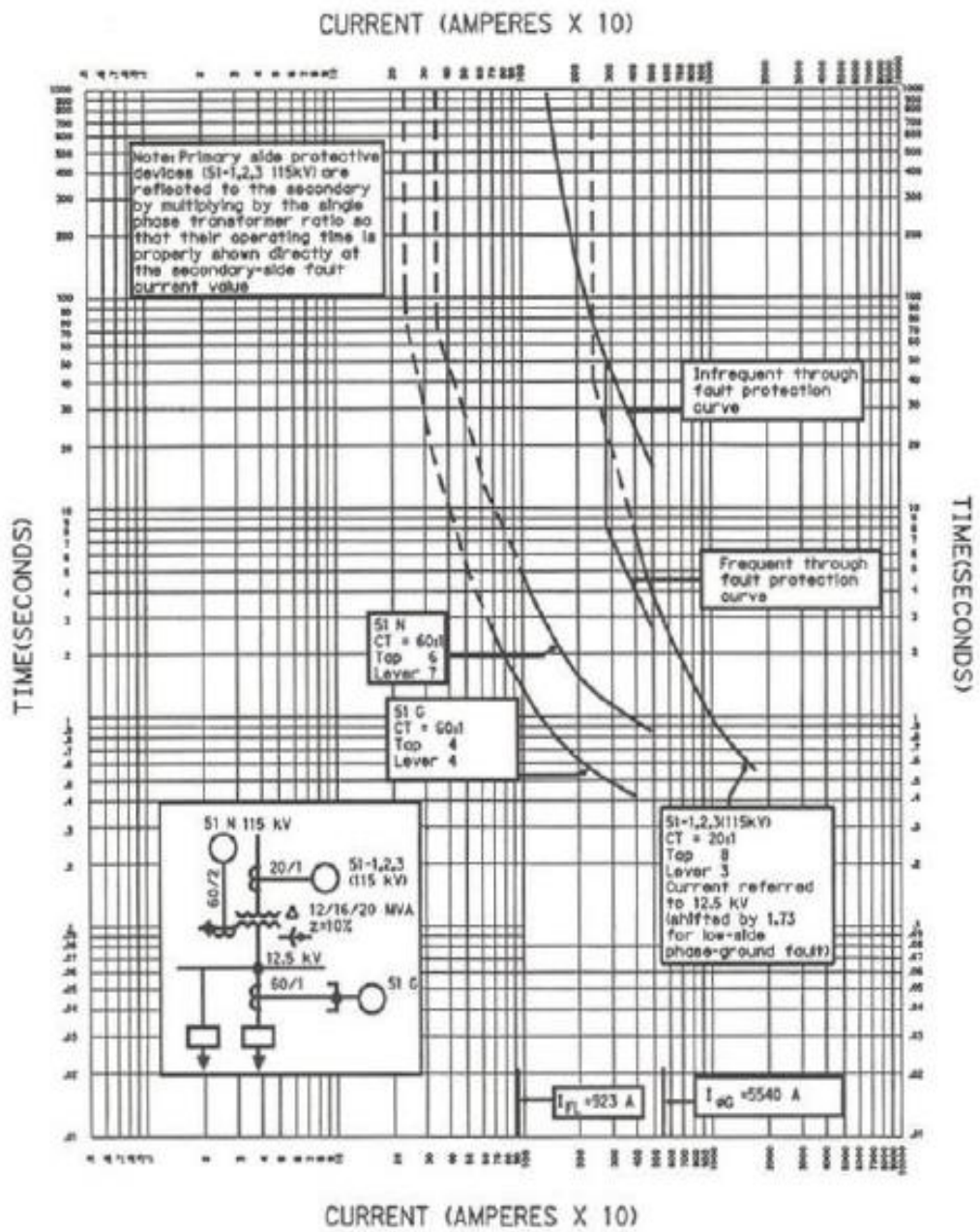
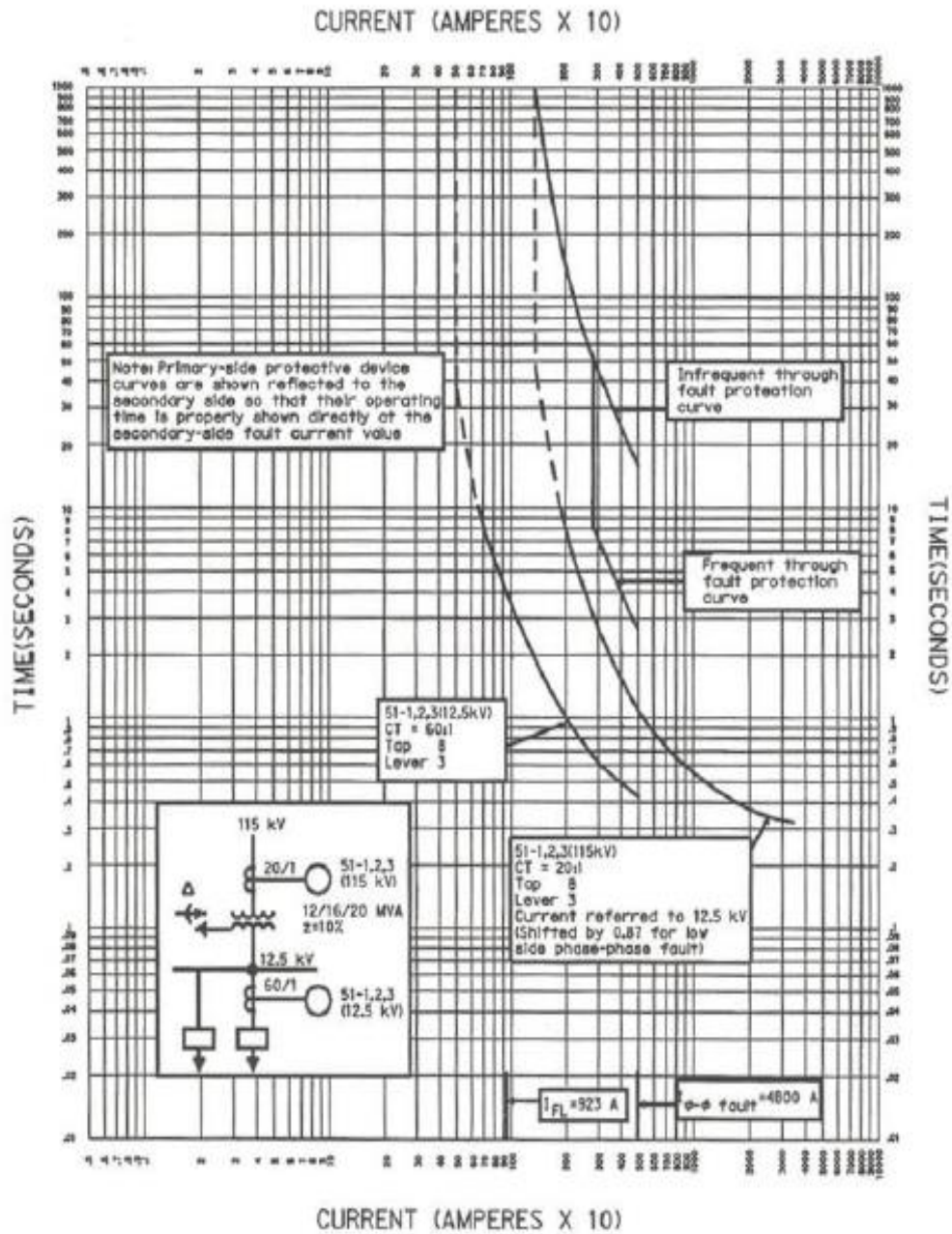


Figura A4.5 Protección de un transformador de Categoría III para una falla línea a tierra secundaria.



**Figura A5.6** Protección de un transformador de Categoría III para una falla de línea a línea secundaria.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] ABBInc, Manual del usuario y descripción técnica SPAD 346 C Relé Diferencial estabilizado,ABB, Versión A Septiembre 2001.
- [2] ABBInc, Manual del usuario y descripción técnica SPAJ140 C Relé combinado de sobrecorriente y falla a tierra,ABB, Versión CAbril 2004.
- [3] ABB Inc, Product Guide SPAA 341 C Feeder protection relay , ABB, Version DJulio 2006.
- [4] Schweitzer Engineering LaboratoriesInc, SEL-751A Feeder Protection Relay, Schweitzer Engineering Laboratories, Version 2013.
- [5] John J. Grainger, Sistemas de Potencia Análisis y Diseño, Tercera Edición.
- [6] IEEE, Guide for Protecting Power Transformer, IEEE, 2008.
- [7] McGraw-Edison Company, Manual Overcurrent Protection for Distribution System, Power System Division.
- [8] IEEE STD. C37.91-2008, IEEE Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers.