



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

## **"Estudio de la Coordinación de la Protecciones por Métodos Computarizados Aplicados a la Subestación TECNOVA"**

### **INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

**ESPECIALIZACIÓN POTENCIA**

Presentado por:

Iván Rafael Collantes Rizzo

Andrés Francisco Delgado Calle

Washington Samuel Ortega Constantine

Guayaquil – Ecuador

AÑO:

2013

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios quien nos da la vida, salud, inteligencia, y nos ha guiado y cuidado hasta el día de hoy.

A nuestros Padres, quienes han sido pilares fundamentales durante nuestra formación.

A nuestros profesores, amigos y compañeros que estuvieron involucrados durante esta etapa de nuestra vida.

Al Ing. Juan Saavedra, por su ayuda académica brindada durante la realización del presente trabajo.

## DEDICATORIA

A Dios, Jesús y María por sus infinitas bendiciones, a mis padres que han logrado educarme inculcándome valores y principios, llenándome de amor y cariño lo necesario para triunfar en la vida.

Iván Rafael Collantes Rizzo

A Dios, razón de mi existencia, a mis padres por su apoyo y paciencia en especial a mi madre por su gran amor.

Samuel Ortega

A Dios, siempre mostrándome el camino, a mi mamá Liz por su valentía, sacrificio y amor, a mi papá David, mi amigo, por su apoyo y confianza; para mis hermanos, y a mi abuelita Juana en especial por su amor incondicional.

Andrés Francisco Delgado Calle

## **TRIBUNAL DE SUTENTACIÓN**

---

Ing. Juan Saavedra

PROFESOR DEL SEMINARIO DE GRADUACIÓN

---

Ing. Gustavo Bermúdez

PROFESOR DELEGADO POR LA UNIDAD ACADÉMICA

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este informe, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

---

Iván Rafael Collantes Rizzo

---

Andrés Francisco Delgado Calle

---

Washington Samuel Ortega Constantine

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal realizar el estudio la coordinación de las protecciones de la empresa TECNOVA considerando un incremento en los últimos años en la carga de la planta.

Como primer paso se realiza el estudio de flujo de carga con la finalidad de obtener en el sistema la corriente de plena carga, estos valores serán datos necesarios para realizar el estudio de coordinación. Además de obtener las corrientes de plena carga, se realiza el análisis de cortocircuito en los puntos principales del sistema considerados como barras que representan a los cuartos eléctricos, de tal manera que permitirá conocer las corrientes de fallas correspondientes.

Luego de obtener la información necesaria, se realiza la coordinación de las protecciones involucradas en el sistema considerando los puntos importantes donde se aplicará los criterios para dicho estudio. El análisis se realiza usando la plataforma de "POWER WORLD" y "Microsoft EXCEL" como herramienta de apoyo para realizar las curvas de los elementos y equipos involucrados en la coordinación.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA .....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
ABREVIATURAS .....	xii
SIMBOLOGÍA .....	xiii
ÍNDICES DE FIGURAS .....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
INTRODUCCION.....	xvii
<b>CAPITULO 1 .....</b>	<b>19</b>
1. DESCRIPCION DE LAS INSTALACIONES .....	19
1.1. ANTECEDENTES.....	19
1.2. CONFIGURACION DE LA SUBESTACION .....	21
1.3. DESCRIPCION DEL SISTEMA ELECTRICO.....	24

1.4. MEDICION DE ENERGIA Y POTENCIA .....	32
<b>CAPITULO 2 .....</b>	<b>33</b>
<b>2. DESCRIPCION DE LAS INSTALACIONES .....</b>	<b>33</b>
2.1. CRITERIOS ADOPTADOS PARA EL ESTUDIO .....	33
2.1.1. FLEXIBILIDAD OPERACIONAL .....	33
2.1.2. NIVELES DE CONFIABILIDAD .....	34
2.1.3. NIVELES DE SOBRECARGA.....	34
2.1.4. REGULACIÓN DE VOLTAJE .....	35
2.2. ANÁLISIS DE CASOS .....	35
2.2.1. CASO BASE CARGA MÁXIMA Y MINIMA.....	35
2.3. DATOS DEL SISTEMA.....	36
2.3.1 DATOS DE TRANSFORMADORES DE FUERZA.....	36
2.3.2. DATOS DE LINEAS Y CONDUCTORES.....	37
2.3.3. DATOS DE BARRAS DE CARGA .....	40
2.4. RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE FLUJO DE CARGA .....	40
2.4.1. CASOS BASES .....	42
2.4.1.1. VOLTAJES EN LAS BARRAS .....	42
2.4.1.2. CONSUMO DEL SISTEMA ELECTRICO TECNOVA.....	45



2.4.1.3. FACTOR DE POTENCIA.....	46
2.4.1.4. CARGA DE CONDUCTORES .....	47
2.4.1.5. CARGA DE LOS TRANSFORMADORES .....	48
2.5. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA .....	49
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>51</b>
<b>3. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO .....</b>	<b>51</b>
3.1. ALCANCE DE LOS ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO. ....	53
3.2 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA ACERCA DE TECNOVA.....	54
3.2.1. IMPEDANCIAS EQUIVALENTES.....	56
3.3 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO .....	57
3.4. ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO CASO BASE.....	59
3.5. CORRIENTE DE FALLA EN CADA BARRA.....	59
3.6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
<b>CAPITULO 4 .....</b>	<b>65</b>
<b>4. COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES .....</b>	<b>65</b>
4.1. OBJETIVOS.....	65
4.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN .....	67

4.3.	RELE SEL 587.....	70
4.3.1.	FUNCIONES DEL RELÉ SEL.....	71
4.3.2.	PROTECCIÓN DIFERENCIAL .....	72
4.3.3.	PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE.....	72
4.3.4.	CONTACTOS DE SALIDA PROGRAMABLE .....	73
4.4.	AJUSTES Y COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES.....	74
4.4.1.	AJUSTES DEL RELE – PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE 74	
4.4.2.	CÁLCULOS DE LOS AJUSTES DE PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE DE FASE.....	75
4.4.3.	AJUSTES DEL RELÉ - PROTECCIÓN DEL NEUTRO .....	84
4.4.4.	CALCULOS DE LOS AJUSTES .....	86
4.4.5.	AJUSTES DEL RELÉ – SECUENCIA NEGATIVA.....	89
4.4.6.	CALCULOS DE LOS AJUSTES .....	91
4.4.7.	AJUSTES DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL.....	92
4.4.8.	CALCULO DE LOS AJUSTES.....	93
4.4.9.	CARACTERÍSTICA DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL .....	97
4.4.10.	RESUMEN DE AJUSTES.....	101

4.4.11. CONCLUSIONES .....	103
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>105</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>108</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>139</b>

## ABREVIATURAS

<b>TR</b>	Transformador
<b>GAM</b>	Celda de Remonte.
<b>QM</b>	Celda de protección.
<b>IM</b>	Celda de línea.
<b>G</b>	Generador.
<b>BIL</b>	Nivel Básico de aislamiento.
<b>XLPE</b>	Polietileno reticulado.
<b>CE</b>	Cuarto Eléctrico.
<b>CTs</b>	Transformadores de corriente.
<b>e</b>	Error de transformador de corriente
<b>a</b>	Regulación de voltaje
<b>tp</b>	Tiempo de operación del Relé.
<b>TD</b>	Ajuste del Dial de Tiempo
<b>M</b>	Múltiplo de la corriente de pickup aplicada.
<b>LLLG</b>	Falla 3 fases a tierra
<b>LG</b>	Falla 1 fase a tierra
<b>LL</b>	Falla entre fases
<b>LLG</b>	Falla 2 fases a tierra

## SIMBOLOGÍA

<b>A</b>	Amperio.
<b>AC</b>	Corriente alterna.
<b>fp</b>	factor de potencia.
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronic Engineers.
<b>Km</b>	Kilómetros.
<b>KV</b>	Kilo voltios.
<b>MVA</b>	Mega Voltios-Amperios.
<b>MVAR</b>	Mega Voltios-Amperios Reactivos.
<b>MW</b>	Mega Vatios.
<b>OA</b>	Sumergido en aceite
<b>FA</b>	Enfriamiento de aire forzado
<b>Ohm</b>	Ohmios.
<b>pu</b>	por unidad.
<b>S/E</b>	Sub-Estación.
<b>SEL</b>	Schweitzer Engineering Laboratories, INC.
<b>SNI</b>	Sistema Nacional Interconectado.

## ÍNDICES DE FIGURAS

FIGURA 1.1: Ubicación Tecnova .....	20
FIGURA 1.2: Subestación tecnova .....	21
FIGURA 1.3: Subestación Tecnova (Disposición de equipos).....	23
FIGURA 1.4: Diagrama unifilar Tecnova (Subestación).....	29
FIGURA 1.5: Diagrama unifilar Tecnova (Cuarto eléctrico 1) .....	30
FIGURA 1.6: Diagrama unifilar Tecnova (Cuarto eléctrico 2) .....	31
FIGURA 2.1: Diagrama unifilar Tecnova.....	39
FIGURA 2.2: Flujo de carga máxima del Sistema Eléctrico Tecnova .....	44
FIGURA 4.1: Esquema de Protecciones TECNOVA .....	69
FIGURA 4.2: Vista frontal del relé.....	70
FIGURA 4.3: Funciones de protección del Relé SEL.....	71
FIGURA 4.4: Coordinación de Sobrecorriente de Fase .....	83
FIGURA 4.5: Protección al neutro.....	88
FIGURA 4.6: Característica de la protección diferencial – SEL 587 .....	98

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I:	Datos de los Transformadores de fuerza .....	36
TABLA II:	Datos de líneas y conductores .....	38
TABLA III:	Datos de barras de carga .....	40
TABLA IV:	Datos de voltajes en barra .....	43
TABLA V:	Datos del flujo de carga.....	45
TABLA VI:	Datos de factor de potencia .....	46
TABLA VII:	Cargabilidad de los conductores.....	47
TABLA VIII:	Cargabilidad de los Transformadores .....	48
TABLA IX:	Potencia de cortocircuito MÁXIMA GENERACIÓN.....	55
TABLA X:	Potencia de cortocircuito MÍNIMA GENERACIÓN .....	55
TABLA XI:	Impedancias de Corto Circuito en barra de 69 KV de Tecnova ..	56
TABLA XII:	Impedancias de Corto Circuito en barra de 69 KV de Tecnova ..	56
TABLA XIII:	Fallas en máxima generación en barra 1 .....	58
TABLA XIV:	Fallas en mínima generación en barra 1 .....	58
TABLA XV:	Fallas en barra 2 Máxima generación .....	60
TABLA XVI:	Fallas en barra 3 Máxima generación .....	60
TABLA XVII:	Fallas en barra 4 Máxima generación.....	61
TABLA XVIII:	Fallas en barra 2 Mínima generación .....	61

TABLA XIX:	Fallas en barra 3 Mínima generación.....	62
TABLA XX:	Fallas en barra 4 Mínima generación.....	62
TABLA XXI:	Fallas referidas al lado de baja (13.8KV) .....	63
TABLA XXII:	Entradas análogas del Relé.....	68
TABLA XXIII:	Ajustes de Relé SEL 587 Alta.....	74
TABLA XXIV:	Ajustes del Relé SEL 587 Baja.....	75
TABLA XXV:	Ajustes de Relé SEL 587 Alta.....	85
TABLA XXVI:	Ajustes de Relé SEL 587 Baja.....	85
TABLA XXVII:	Ajustes de Relé SEL 587 Alta.....	90
TABLA XXVIII:	Ajustes de Relé SEL 587 Baja .....	90
TABLA XXIX:	Ajustes de Relé Diferencial.....	93
TABLA XXX:	Protección de sobrecorriente .....	101
TABLA XXXI:	Protección de sobrecorriente del neutro .....	101
TABLA XXXII:	Protección Diferencial.....	102



## INTRODUCCIÓN

La empresa TECNOVA en el año 2009 elaboro el proyecto “SUBESTACIÓN TECNOVA” para poder obtener energía eléctrica a un nivel mayor de voltaje (69 KV), con la finalidad de obtener todos los beneficios y ventajas que trae consigo el comprar energía a altos niveles de voltaje. La capacidad instalada de la subestación TECNOVA es de 5MVA.

La coordinación de las protecciones se la realiza con la finalidad de mantener la seguridad de los respectivos equipos eléctricos en caso de presentarse anomalías durante la operación y maniobras del sistema. De esta manera se garantiza de que en caso de presentarse una falla, la configuración del relé de protección con su respectiva coordinación será capaz de aislar el sistema eléctrico evitando daños y averías a los dispositivos eléctricos.

Se realiza un análisis de flujo de carga y cortocircuito en base a la potencia instalada, debido a que la carga actual de la planta es cercana a los 5MVA y funcionara al 100% en el transcurso de este año; esta información es básica para realizar los ajustes al Relé SEL 587, que presenta dos sistemas de protección, sobrecorriente y diferencial, el presente trabajo nos muestra los

diferentes criterios de coordinación que hemos elegido para garantizar una operación exitosa del Relé al momento que se presente una falla en el sistema de la subestación TECNOVA.

# **CAPÍTULO 1**

## **1. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES**

### **1.1. ANTECEDENTES**

Tecnova fue fundada en Guayaquil en 1962, para asumir desde entonces la representación de la casa alemana ROBERT BOSCH GmbH y sus productos BOSCH, en lo que se refiere a la línea automotriz. Actualmente maneja la importación, distribución y servicio en el Ecuador a través de

una red de más de 2000 almacenes de repuestos, estaciones de servicios, tiendas de grandes superficies y talleres técnicos.

Tecnova cuenta con tres secciones que son automotriz, termotecnia y herramientas eléctricas encargadas de la comercialización de los productos BOSCH en el Ecuador. Esta se encuentra ubicada en el Km 16  $\frac{1}{2}$  Via a Daule (Lotización Industrial Pascuales)



**FIGURA 1.1: Ubicación Tecnova**

## 1.2. CONFIGURACIÓN DE LA SUBESTACIÓN

La subestación es de tipo terminal, abierta. Todo equipo, estructura y elemento de la subestación están adecuadamente puestos a tierra por medio de una malla calculada para estos fines la cual presenta siempre un doble camino de conducción ante cualquier perturbación.



**FIGURA 1.2: Subestación tecnova**

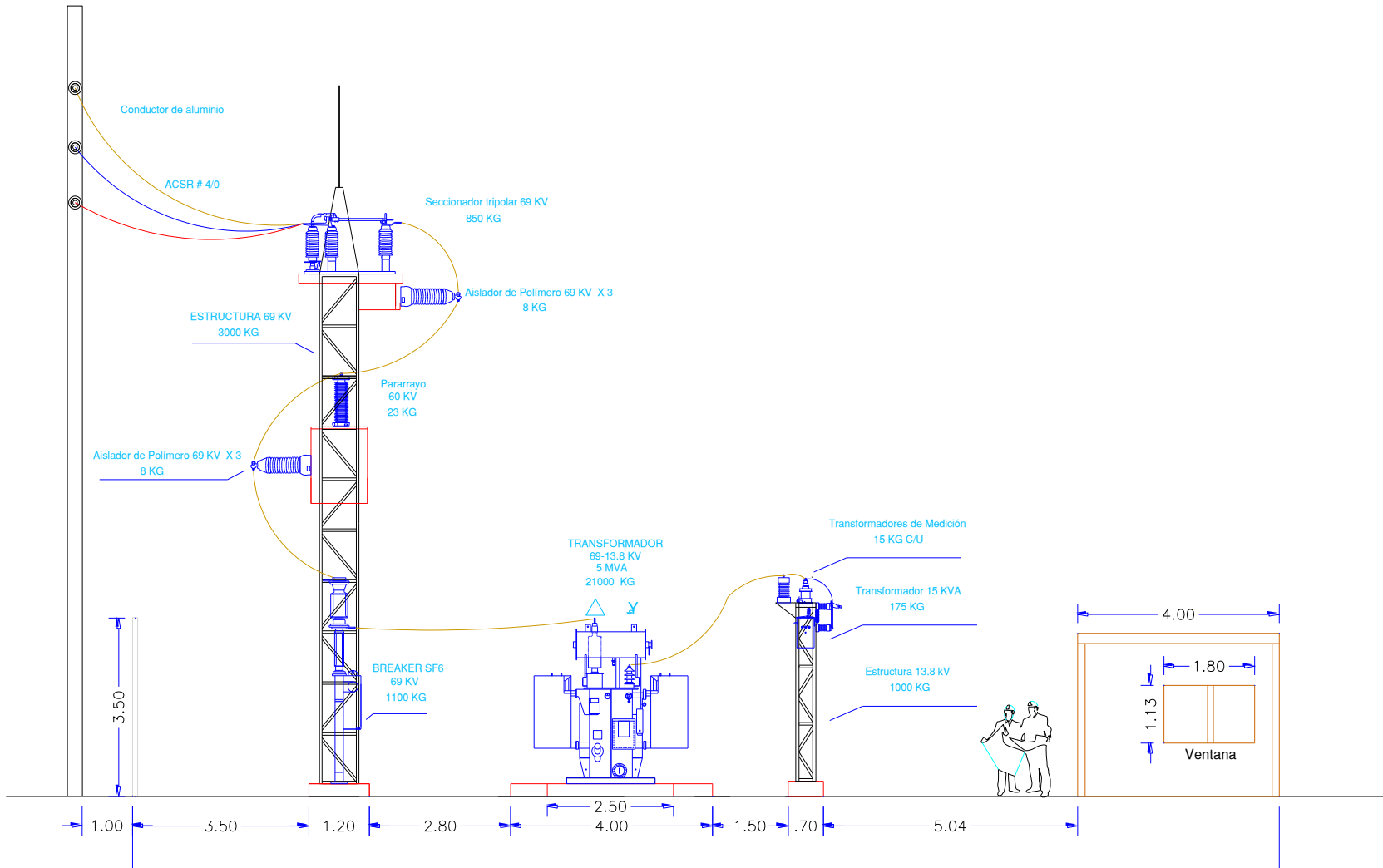
La línea de subtransmisión que alimenta a la subestación llega en forma aérea desde un ramal de 69 KV. El ingreso se hace a través de tres puentes aéreos que se conectan al seccionador de aire a 69 KV, montado en la parte superior del pórtico de 69 KV. Este seccionador es utilizado

para realizar maniobras sin carga en el patio de 69 KV, previo a cualquier mantenimiento.

La llegada al transformador de fuerza se la hace a través de conexiones en los pararrayos de 69 KV y Breaker de Poder 69 kV con aislamiento en SF6. La subestación tiene una capacidad de 5 MVA OA, a 65 grados rice, con provisión FA.

A la salida de 13.8 KV del transformador se encuentran ubicados tres pararrayos de 15 kV. A continuación de los mismos se encuentran los transformadores medición para la empresa distribuidora y finalmente hacia las cuchillas monopolares tal como se muestra en el Grafico 1.3

La línea de 13.8 KV se dirige vía subterránea al cuarto de control y se conecta con el interruptor en vacío 15 KV tipo interior. Desde ahí parte el alimentador a 13.8 KV subterráneo para alimentar la carga y proveer de energía a la planta .



**FIGURA 1.3: Subestación Tecnova (Disposición de equipos)**

### **1.3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO**

La empresa Tecnova tiene una demanda máxima estimada de 4.5 MVA la cual está conectada a una línea de subtransmisión de la CATEG y por medio de esta al S.N.I (Sistema Nacional Interconectado) mediante una subestación de 5 MVA.

Se conecta a un nivel de 69 KV, y por medio de la subestación reducirá su voltaje a 13.8 KV, voltaje que utiliza en su sistema interno para su consumo.

La alimentadora proviene del cuarto de control de donde llega al cuarto de celdas, en este se deriva la alimentación correspondiente al área principal de la planta y la alimentación del área de fabricación de placas. Cada alimentadora se dirige a un cuarto eléctrico distribuidos de la siguiente manera:

#### **Cuarto Eléctrico 1 (Tecnova)**

Transformadores:



- **TR 1 3 $\phi$  1000 KVA**

13.2 Kv – 230 V

Vcc: 5.54%

- **TR 2 3 $\phi$  1200 KVA**

13.2 Kv – 230 V

Vcc: 4.4%

- **TR 3 3 $\phi$  1000 KVA**

13.2 Kv – 470 V

Vcc: 3.2%

### **Cuarto Eléctrico 2 (Placas del sur)**

Transformadores:

- **TR 4 3 $\phi$  1200 KVA**

13.2 Kv – 440 V

Vcc: 3.2%

- **TR 5 3 $\phi$  200 KVA**

13.2 Kv – 225 V

Vcc: 5.54%

El cuarto eléctrico 1 tiene la carga de las siguientes áreas:

- Área de carga de baterías
- Oficinas administrativas
- Área de mezzanine con equipos
- Área de vestidores
- Cuarto de curado
- Bodega de plomo, casa de fuerza
- Bodegas de materia prima
- Bodegas Tecnova

El cuarto eléctrico 2 tiene la carga de las siguientes áreas:

- Fábrica de placas.

En el **cuarto eléctrico 1** se encuentran 15 tableros de distribución de los cuales 4 son de uso exclusivo de banco de capacitores y los 11 restantes corresponden a la alimentación de la carga final.

En **el cuarto eléctrico 2** se encuentran 7 tableros de distribución de los cuales 2 son de uso exclusivo de banco de capacitores y los 5 restantes corresponden a la alimentación de la carga final. Las figuras 1.4, 1.5 y 1.6 muestran el diagrama unifilar detallado. En el cuarto de control parte una alimentadora hacia el cuarto eléctrico 1 donde esta llega a una celda de remonte (GAM-1) hacia una celda de línea la cual está dotada de un interruptor seccionador en atmosfera de SF6, el mismo que se opera de manera local mediante palanca y siempre en vacío o en carga.

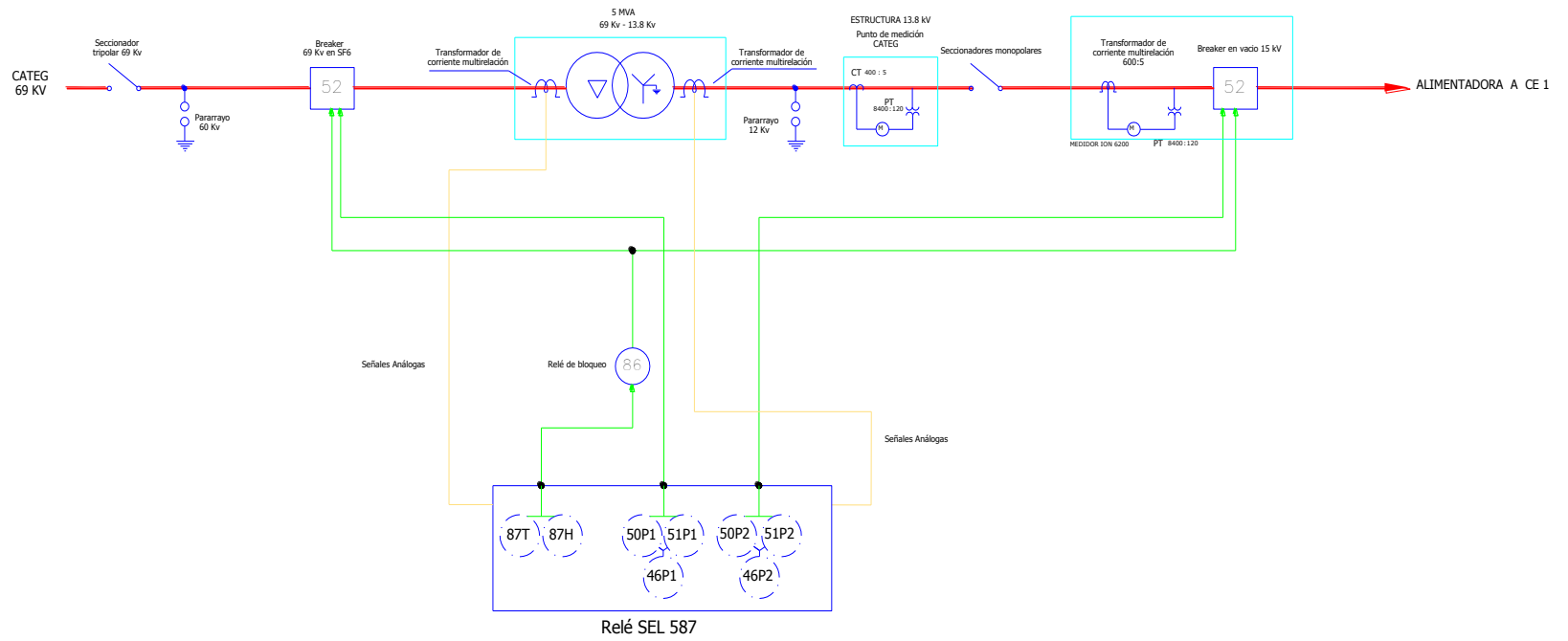
Luego desde este punto de seccionamiento a través de la celda (GAM2) se distribuye la alimentación en dos líneas independientes.

- TECNOVA: QM-1
- PLACAS DEL SUR: QM-2

La alimentación TECNOVA es protegida mediante la celda QM-1 (Celda de Protección) y la alimentación PLACAS DEL SUR por QM-2, cada una con fusibles DIN (FUSARC-CF), 80E y 100E respectivamente.

En este cuarto se encuentra la protección para los 3 transformadores TR<sub>1</sub>, TR<sub>2</sub> y TR<sub>3</sub> mediante las celdas de protección QM-3, QM-4 y QM-5 con fusibles 80E cada uno.

Desde el cuarto eléctrico 1 se alimenta al cuarto eléctrico 2 (Placas del Sur) a 215mt de distancia, esta llega mediante la celda GAM-3 a IM-2 (celda de línea) de donde la protección de los transformadores TR<sub>4</sub> Y TR<sub>5</sub> es mediante tiras fusibles de 80K y 12K respectivamente.



**FIGURA 1.4: Diagrama unifilar Tecnova (Subestación)**

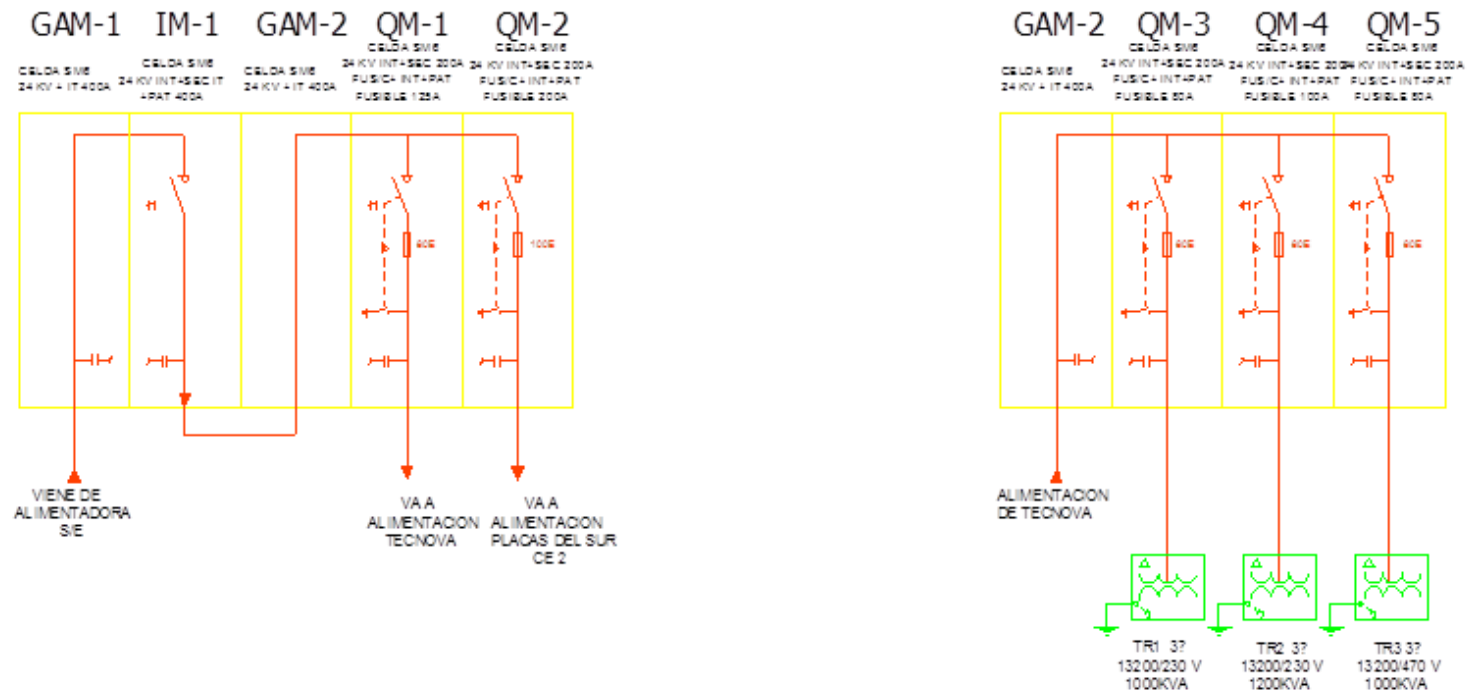
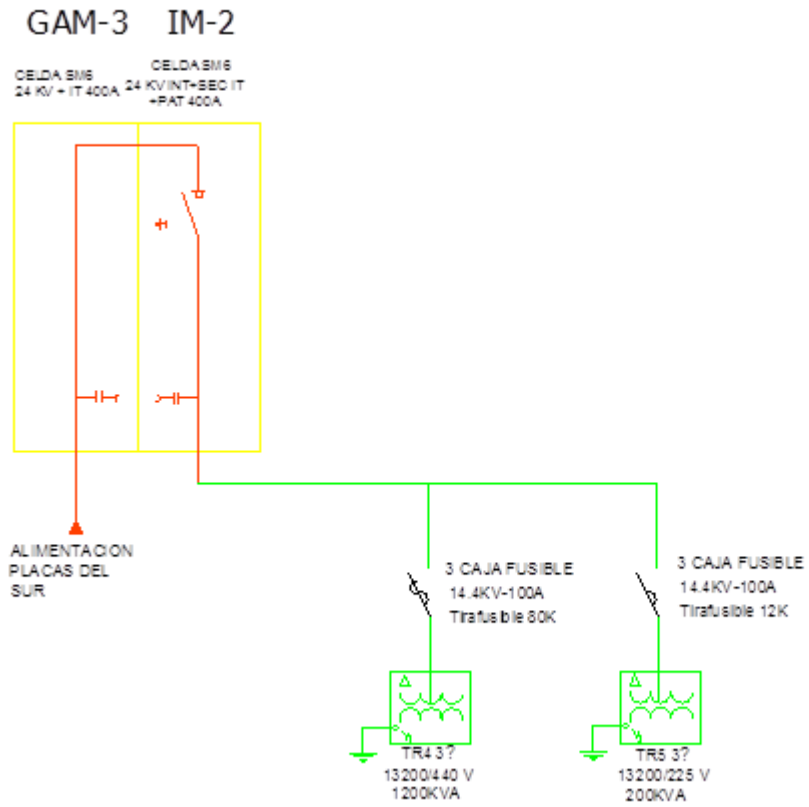


FIGURA 1.5: Diagrama unifilar Tecnova (Cuarto eléctrico 1)



**FIGURA 1.6: Diagrama unifilar Tecnova (Cuarto eléctrico 2)**

#### **1.4. MEDICIÓN DE ENERGÍA Y POTENCIA**

La medición de energía se la efectúa a nivel de 13,8 KV. Por lo cual se tiene un pórtico de 13.8 KV que soporta los equipos de medición.



## **CAPÍTULO 2**

### **2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES**

#### **2.1. CRITERIOS ADOPTADOS PARA EL ESTUDIO**

##### **2.1.1. FLEXIBILIDAD OPERACIONAL**

El sistema podrá funcionar alimentado por la Empresa Eléctrica o por medio de los 2 generadores de emergencia que dispone la empresa sin ninguna restricción.

- G1: 375 Kv 220Y/127V
- G2: 375 Kv 220Y/127V

### **2.1.2. NIVELES DE CONFIABILIDAD**

El sistema debe proveer la continuidad del servicio y la alimentación a la Empresa Tecnova en forma prioritaria, ante la existencia de falla de un elemento del sistema

### **2.1.3. NIVELES DE SOBRECARGA**

No se aceptan sobrecarga en los cables del sistema, mayores a la cargabilidad establecida en las especificaciones técnicas.

Para el caso de los transformadores convencionales de fuerza, la carga no debe exceder su capacidad OA.

#### **2.1.4. REGULACIÓN DE VOLTAJE**

Se considera la variación del voltaje de la CNEL entre 0.9916 y 1.00417 para máxima y mínima carga respectivamente. 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.

### **2.2. ANÁLISIS DE CASOS**

#### **2.2.1. CASO BASE CARGA MÁXIMA Y MÍNIMA**

Para realizar el análisis de flujo de carga y de cortocircuito respectivo se tienen los casos correspondientes a la máxima generación (CARGA MAXIMA) y mínima generación (CARGA MINIMA), para el desarrollo del proyecto se escoge la situación que ocasione la mayor corriente de falla, por lo tanto el caso a considerarse es el de máxima carga.

## 2.3. DATOS DEL SISTEMA

### 2.3.1 DATOS DE TRANSFORMADORES DE FUERZA

**TABLA I: Datos de los Transformadores de fuerza**

<b>Marca</b>	TRASFO
<b>Procedencia</b>	BRASIL
<b>Capacidad nominal</b>	5 MVA
<b>Tipo de enfriamiento</b>	OA
<b>Número de fases</b>	3
<b>Frecuencia</b>	60 HZ
<b>Voltaje primario</b>	69000V
<b>Voltaje secundario</b>	13800V
<b>Conexión Primaria</b>	DELTA
<b>Conexión Secundaria</b>	ESTRELLA CON BUSHING DE NEUTRO EXTERIOR
<b>Cambiador de taps</b>	MANUAL, OPERADO DESDE EXTERIOR
<b>Porcentaje de regulación</b>	(+/-2*25%)
<b>Elevación de temperatura</b>	65 °C
<b>BIL Primario</b>	350 KV
<b>BIL Secundario</b>	110 KV

El transformador de fuerza cumple con las normas IEC 76 o ANSI C57, sumergido en aceite (OA), apto para la instalación a la intemperie, capaz de entregar potencia continua sin exceder la temperatura especificada en todos los valores de voltaje de +/- 5%

de regulación. En la tabla I se muestra las características técnicas del transformador de fuerza.

### **2.3.2. DATOS DE LÍNEAS Y CONDUCTORES**

Para realizar el análisis de cortocircuito y de flujo de potencia se considera los puntos de los dos cuartos eléctricos como barra de análisis ya que en los mismos se encuentran los transformadores para suplir a la carga final.

En la siguiente tabla se muestra los datos de la líneas y tipo de conductores del alimentador principal que parte desde la subestación al cuarto eléctrico 1(Barra 3), y el alimentador que va hacia el cuarto eléctrico 2 (Barra 4). La barra 1 y 2 corresponden al nivel de voltaje de 69KV y 13.8 KV respectivamente.

**TABLA II: Datos de líneas y conductores**

<b>PUNTO</b>	<b>BARRA</b>	<b>CONDUCTOR</b>	<b>CLASE</b>	<b>TIPO</b>
De S/E a Cuarto eléctrico 1	2 a 3	2x(3#1/0 Cu) + T(1#1/0 Cu)	15 KV	XLPE
De Cuarto eléctrico 1 a Cuarto eléctrico 2	3 a 4	3#2 Cu + T(1#4 Cu THWN)	15 kV	XLPE
<b>PUNTO</b>	<b>RESISTENCIA POR FASE(<math>\Omega</math>/Km)</b>		<b>REACTANCIA POR FASE FASE(<math>\Omega</math>/Km)</b>	
De S/E a Cuarto eléctrico 1	0.3350		0.1190	
De Cuarto electrico 1 a Cuarto eléctrico 2	0.6550		0.1360	

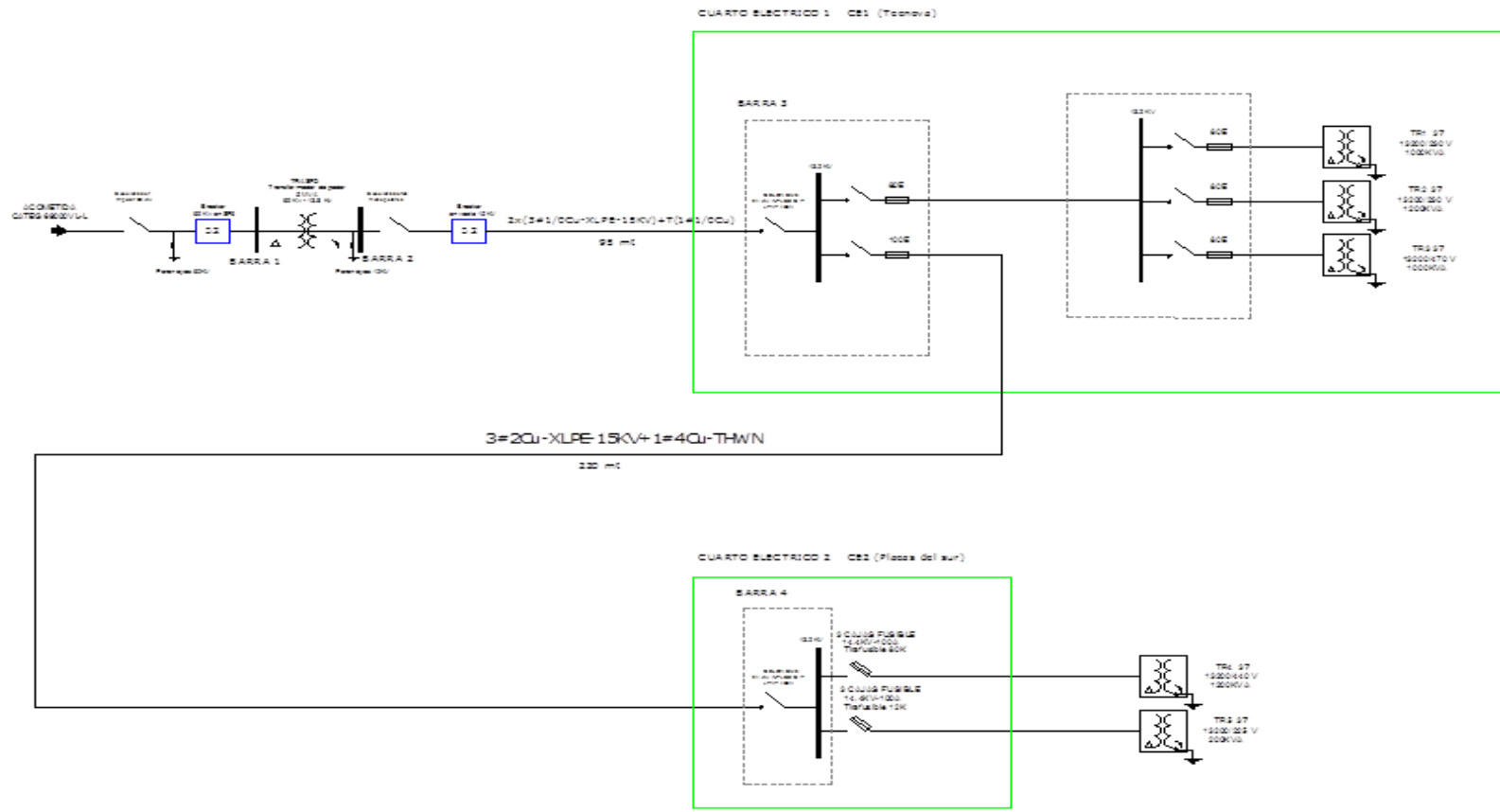


FIGURA 2.1: Diagrama unifilar Tecnova

### 2.3.3. DATOS DE BARRAS DE CARGA

Los datos correspondientes a la carga se presentan a continuación en la tabla III, estos datos corresponden a la capacidad nominal instalada teniendo en consideración que en la planta no existen grandes motores (mayor que 100 HP) de tal manera de que esta situación no se afecta la coordinación de la protección.

**TABLA III: Datos de barras de carga**

	<b>NOMBRE DE LA BARRA</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>TRANSFORMADOR</b>	<b>KVA</b>	<b>KW</b>	<b>KVAR</b>
<b>BARRA 3</b>	TECNOVA (CE1)	CUARTO ELECTRICO 1				
			TR 1	1000	800	527
			TR 2	1200	960	632
			TR 3	1000	800	527
<b>BARRA 4</b>	PLACAS DEL SUR (CE2)	CUARTO ELECTRICO 2				
			TR 4	1179	996	632
			TR 5	180	160	84

### 2.4. RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE FLUJO DE CARGA

Para realizar el análisis de flujo de carga se ha asignado al sistema eléctrico TECNOVA 4 barras de las cuales la barra 1 corresponde a lado de 69KV del transformador de 5 MVA, la barra 2 al lado de 13. V8 KV, la



barra 3 localizada en cuarto eléctrico 1 en el punto correspondiente a las celdas GAM-1, IM-1, GAM-2, QM-1, QM-2 (Ver figura 1.5). Se ha considerado una sola barra (Barra 3) debido a que en este punto se encuentra concentrada la carga de los transformadores TR<sub>1</sub>, TR<sub>2</sub>, TR<sub>3</sub>, a pesar de que existen dos grupos de celdas como se muestra en la figura 1.5 y la figura 2.1 es decir:

- Las distancias entre las celdas de protección de cada cuarto eléctrico con respecto a las celdas de los transformadores TR<sub>1</sub>, TR<sub>2</sub>, TR<sub>3</sub> es mínima ya que estas se encuentran dispuestas en el mismo cuarto.

Por lo tanto el cuarto eléctrico 1 está representado por la barra 3. La barra 4 representa al cuarto eléctrico 2 (placas del sur) donde, esta es motivo de análisis ya que existe una distancia 120mt con respecto al CE1. Esta barra representa a la carga correspondiente a los transformadores TR<sub>4</sub> y TR<sub>5</sub>.

Basado a las consideraciones mencionadas anteriormente se realiza el análisis teniendo en cuenta las distancias y conductores entre la barras 2

y la barra 3, y la barra 3 y 4, tanto para el estudio de flujo de carga y de cortocircuito.

El análisis de flujo de carga muestra lo siguiente:

- Voltaje de barras
- Consumo de Tecnova
- Factor de potencia
- Carga de los conductores
- Ajustes de tap de los transformadores.

#### **2.4.1. CASOS BASES**

En la figura 2.2 se muestra el análisis de flujo de carga correspondiente al caso de carga máxima que es el caso de análisis para la coordinación. En el Anexo 1 se adjunta los resultados del flujo de carga tanto para máxima y mínima carga.

##### **2.4.1.1. VOLTAJES EN LAS BARRAS**

En la tabla IV se muestran los valores de los voltajes de las barras correspondientes al caso de análisis.

**TABLA IV: Datos de voltajes en barra**

<b>BARRA</b>	<b>NOMBRE DE LA BARRA</b>	<b>V (pu)</b>	<b>V (Kv)</b>
<b>1</b>	S/E 69 KV	1	69
<b>2</b>	S/E 13.8 KV	0.9997	13.7956
<b>3</b>	TECNOVA (CE1)	0.9996	13.7951
<b>4</b>	PLACAS DEL SUR (CE2)	0.9996	13.7944
<b>5</b>	TR 2 230 V	0.9993	0.2298
<b>6</b>	TR 1 230 V	0.9994	0.2299
<b>7</b>	TR 3 470 V	0.9995	0.4698
<b>8</b>	TR 5 225 V	0.9995	0.2249
<b>9</b>	TR 4 440 V	0.9994	0.4397

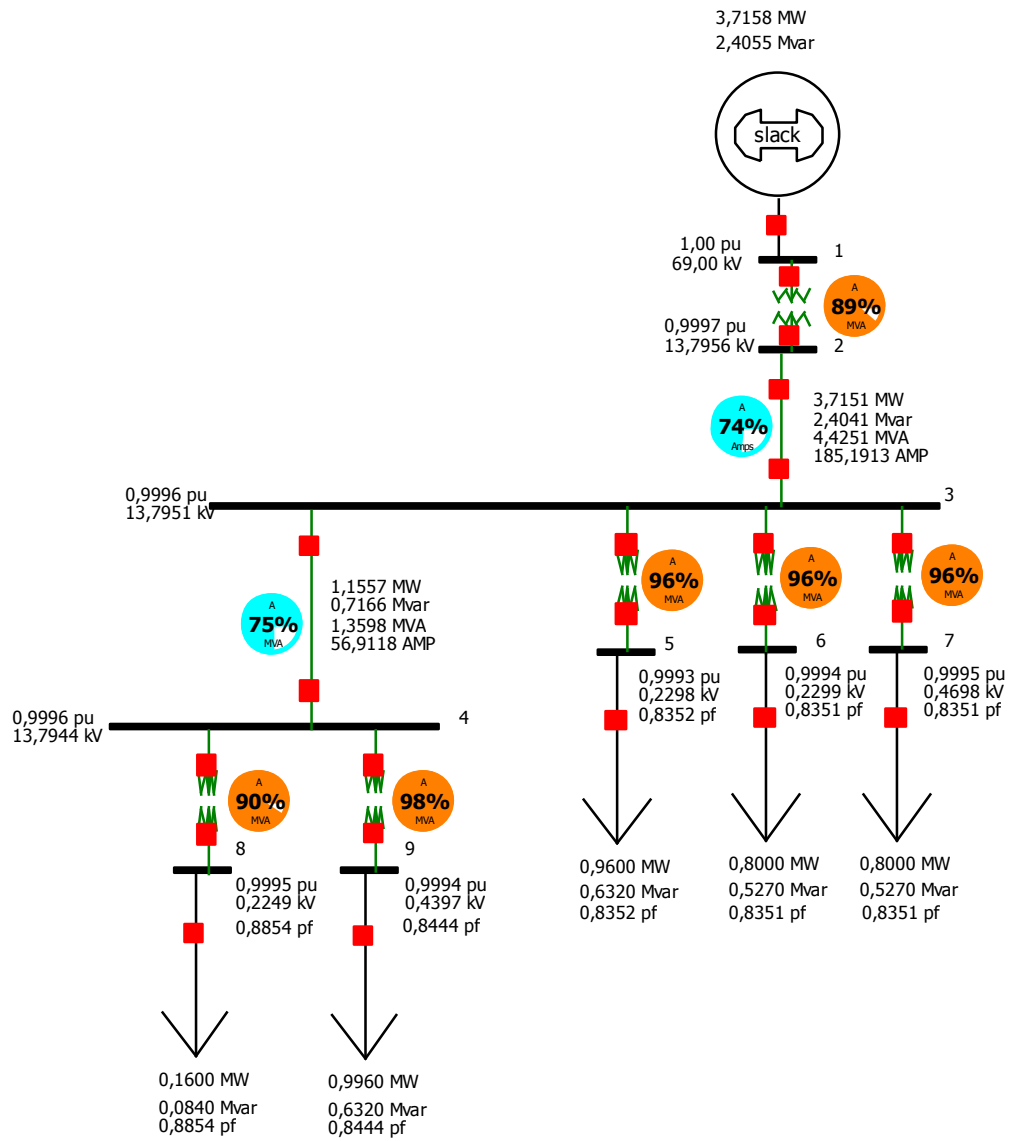


FIGURA 2.2: Flujo de carga máxima del Sistema Eléctrico Tecnova

### 2.4.1.2. CONSUMO DEL SISTEMA ELÉCTRICO TECNOVA

En la tabla V se muestran los valores de potencia de consumo en cada barra correspondiente al caso de análisis.

**TABLA V: Datos del flujo de carga**

BARRA	NOMBRE DE LA BARRA	MW	MVAR
1 a 2	S/E 13.8 KV a S/E 69 KV	3.7158	2.4055
2 a 3	S/E A CE1	3.7151	2.4041
3 a 4	CE 1 A CE2	1.1557	0.7166
3 a 5	TR 2 230 V	0.9600	0.6320
3 a 6	TR 1 230 V	0.8000	0.5270
3 a 7	TR 3 470 V	0.8000	0.5270
4 a 8	TR 5 225 V	0.1600	0.0840
4 a 9	TR 4 440 V	0.9960	0.6320

En análisis de flujo de carga es realizado con la finalidad de obtener los valores correspondientes de potencia en cada barra, basándose en el hecho de que el sistema se encuentra en condiciones de estado estable lo cual permite conocer las corrientes cuando la planta se encuentra en operación a plena carga.

### 2.4.1.3. FACTOR DE POTENCIA

En la tabla VI se muestran los valores correspondientes al factor de potencia en cada barra basados a los resultados del flujo de carga.

**TABLA VI: Datos de factor de potencia**

<b>BARRA</b>	<b>NOMBRE DE LA BARRA</b>	<b>Fp</b>
<b>5</b>	TR 2 230 V	0.8352
<b>6</b>	TR 1 230 V	0.8351
<b>7</b>	TR 3 470 V	0.8351
<b>8</b>	TR 5 225 V	0.8854
<b>9</b>	TR 4 440 V	0.8444

En el estudio es necesario obtener los valores de factor de potencia ya que del mismo dependerá un incremento adicional de corriente para un valor de potencia específico, el cual afectará a la coordinación de las protecciones debido a que este considera los valores nominales de corriente en operación.

#### 2.4.1.4. CARGA DE CONDUCTORES

En la tabla VII se muestran los valores correspondientes a la cargabilidad de los conductores para un valor específico de potencia.

**TABLA VII: Cargabilidad de los conductores**

ZONA	Barra	CONDUCTOR	CLASE	TIPO	%
De S/E a Cuarto electrico 1	2 a 3	2x(3#1/0 Cu) + T(1#1/0 Cu)	15 KV	XLPE	74 %
De Cuarto electrico 1 a Cuarto electrico 2	3 a 4	3#2 Cu + T(1#4 Cu THWN)	15 kV	XLPE	75 %

Los valores mostrados corresponden a la cargabilidad de los conductores en un porcentaje de la capacidad máxima de potencia que estos pueden conducir. Para el sistema TECNOVA se ha considerado 2 zonas de estudio que son:

- De la S/E al cuarto eléctrico 1 (CE1)
- Del cuarto eléctrico 1 al cuarto eléctrico

Estas zonas se consideran críticas ya que tienen distancias considerables en el sistema pudiendo ocasionar caída de voltaje entre los puntos de servicio a la carga.

#### 2.4.1.5. CARGA DE LOS TRANSFORMADORES

En la tabla VIII se muestran los valores correspondientes a la carga de los transformadores para un valor específico de potencia.

**TABLA VIII: Cargabilidad de los Transformadores**

BARRA	NOMBRE DE LA BARRA	UBICACIÓN	TRANSFORMADOR	%
BARRA 3	TECNOVA (CE1)	CUARTO ELECTRICO 1		
			TR 1	96 %
			TR 2	96 %
			TR 3	96 %
BARRA 4	PLACAS DEL SUR (CE2)	CUARTO ELECTRICO 1		
			TR 4	98 %
			TR 5	90 %
BARRA 1-2	S/E 69/13.8 KV	S/E		
			TRASFO 5MVA	89 %



Los valores mostrados corresponden a la carga del transformador en porcentaje de valor máximo que este puede soportar en condiciones de estado estable. Este valor es importante ya que nos permite saber la condición de carga de cada transformador basados en el hecho de que un transformador sobrecargado ocasiona pérdidas de potencia la cual ocasionaría variaciones para la coordinación de las protecciones.

## **2.5. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA**

- Los resultados mostrados en la tabla IV, se observa que los valores de voltajes en las barras del Sistema Eléctrico TECNOVA se mantienen bajo el rango máximo permitido  $\pm 2.5\%$ , es decir no existe caída de voltaje en ninguna de las barras.
  
- En la tabla V se observa los valores de potencia de las barras de carga, para nuestro caso valores aproximados basados en la actual expansión de planta TECNOVA.

- La tabla VII muestra los valores de cargabilidad de los conductores que alimentan a los respectivos cuartos eléctricos, donde se observa el 74 % de cargabilidad para la zona comprendida entre la subestación y el cuarto eléctrico 1, permitiendo una futura expansión de la carga de 26%. El alimentador que parte del cuarto eléctrico 1 al cuarto eléctrico 2 tiene una cargabilidad del 75 % permitiendo un 25% de expansión de carga.
- Los datos mostrados en la tabla VIII, se observa los valores de cargabilidad de los transformadores los cuales tienen un porcentaje alto cercano a su capacidad nominal, estos resultados están basados a la expansión que tiene la planta en la actualidad.

## **CAPÍTULO 3**

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

Una falla en un sistema es cualquier evento que interfiere con el flujo normal de corriente. El tipo de falla más grave es la simétrica, también llamada falla trifásica a tierra, sin embargo la mayoría de las fallas que ocurren en los sistemas de potencia, son fallas asimétricas.

Las fallas nos podrían conducir a los siguientes fenómenos:

- Flujos de corrientes no deseados.
- Corrientes elevadas que podrían dañar los equipos.
- Armónicos.
- Peligros para la seguridad del personal.

El sistema eléctrico de la subestación Tecnova requiere realizar estudios de cortocircuito para resolver las situaciones críticas señaladas, y obtener la información básica para la coordinación de las protecciones. Los estudios se realizarán con los siguientes objetivos:

- Determinar 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.
- Determinar el ajuste de los equipos de protección, los cuales son establecidos considerando el sistema bajo condiciones de falla.

### **3.1. ALCANCE DE LOS ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO.**

Considerando que la subestación Tecnova 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 doble línea a tierra.
- Falla línea a línea.

La falla trifásica a tierra es a menudo, para este tipo de sistema, la más severa de todas, por ello se realiza el análisis de la falla trifásica cuando se busca las magnitudes máximas de corriente de falla; sin embargo se verificará que la corriente de falla a tierra no exceda la corriente trifásica.

### **3.2 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA ACERCA DE TECNOVA**

Los datos proporcionados por la Empresa Eléctrica de Guayaquil corresponden a los MVA de corto circuito y las impedancias de Thévenin en la barra de interconexión de la industria con el sistema de 69KV. La información está dada en bases de 100MVA y 69KV.

La tabla IX muestra los datos del sistema en máxima generación, este se da cuando todas las unidades disponibles de generación están operando.

En la tabla X muestra los datos del sistema en mínima generación, en este caso no todas las unidades de generación se encuentran en operación, de tal manera que los valores correspondientes de impedancia equivalentes serán distintos para cada situación.

**TABLA IX: Potencia de cortocircuito MÁXIMA GENERACIÓN**

Barra	kV Pre falla	Tipo falla	Potencia de falla	la	la	lb	lb	lc	lc	ln	ln
			MVA	kA	p.u.	kA	p.u.	kA	p.u.	kA	p.u.
1	69	LLLG	1495	12,51	14,95	12,51	14,95	12,51	14,95	0	0
1	69	LG	1525	12,76	15,249	0	0	0	0	12,76	15,249
1	69	LL	1295	0	0	10,83	12,943	10,83	12,943	0	0
1	69	LLG	1518	0	0	12,71	15,189	12,57	15,022	13,02	15,56

**TABLA X: Potencia de cortocircuito MÍNIMA GENERACIÓN**

Barra	kV Pre falla	Tipo falla	Potencia de falla	la	la	lb	lb	lc	lc	ln	ln
			MVA	kA	p.u.	kA	p.u.	kA	p.u.	kA	p.u.
1	69	LLLG	1238	10,36	12,381	10,36	12,381	10,36	12,381	0	0
1	69	LG	1337	11,18	13,361	0	0	0	0	11,18	13,361
1	69	LL	1072	0	0	8,974	10,724	8,974	10,724	0	0
1	69	LLG	1302	0	0	10,89	13,014	10,78	12,883	12,15	14,52

### 3.2.1. IMPEDANCIAS EQUIVALENTES

**TABLA XI: Impedancias de Corto Circuito en barra de 69 KV de Tecnova**

<b>IMPEDANCIAS EQUIVALENTES - MÁXIMA GENERACIÓN</b>				
Zeq(+)=	0.2852 +J	3.1717 (Ohms)	69 Kv base	100 MVA base
Zeq(+)=	0.0059896 +J	0.066618 (p.u.)	X/R=	11.1224
Zeq (+)=	0.06688671940 (p.u.)			
Zeq(0)=	0.3225 +J	2.9792 (Ohms)	69 Kv base	100 MVA base
Zeq(0)=	0.0067732 +J	0.062575 (p.u.)	X/R=	9,238616

**TABLA XII: Impedancias de Corto Circuito en barra de 69 KV de Tecnova**

<b>IMPEDANCIAS EQUIVALENTES - MÍNIMA GENERACIÓN</b>				
Zeq(+)=	0.3421 +J	3.8293 (Ohms)	69 Kv base	100 MVA base
Zeq(+)=	0.0071860 +J	0.080430 (p.u.)	X/R=	11.1926
Zeq (+)=	0.08075037768 (p.u.)			
Zeq(0)=	0.3225 +J	2.9792 (Ohms)	69 Kv base	100 MVA base
Zeq(0)=	0.0067731 +J	0.062575 (p.u.)	X/R=	9,238753

Estas impedancias se aplicaron para determinar la corriente de cortocircuito aguas abajo del transformador como se lo realizó en la sección 3.5.



### **3.3 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO**

Las corrientes de cortocircuito han sido calculadas en base a los datos de la sección 3.2.1. La falla trifásica, bifásica a tierra, línea a tierra y línea a línea se aplica a cada barra del sistema.

En las tablas XIII y XIV se muestran los valores de las corrientes de falla en la barra de 69 KV obtenidos analíticamente en base a las impedancias equivalentes para los casos de máxima y mínima generación.

Para el cálculo correspondiente se utilizó el método de las componentes simétricas de tal manera que se obtiene un circuito equivalente para cada tipo de falla.

**TABLA XIII: Fallas en máxima generación en barra 1**

Barra	KV Pre falla	Tipo falla	la	la	lb	lb	lc	lc	ln	ln
			kA	p.u.	kA	p.u.	kA	p.u.	kA	p.u.
1	69	LLLG	12,509	14,95	12,509	14,95	12,509	14,95	0	0
1	69	LG	12,761	15,251	0	0	0	0	12,761	15,251
1	69	LL	0	0	10,833	12,947	10,833	12,947	0	0
1	69	LLG	0	0	12,705	15,184	12,573	15,026	13,022	15,563

**TABLA XIV: Fallas en mínima generación en barra 1**

Barra	kV Pre falla	Tipo falla	la	la	lb	lb	lc	lc	ln	ln
			kA	p.u.	kA	p.u.	kA	p.u.	kA	p.u.
1	69	LLLG	10,361	12,383	10,361	12,383	10,361	12,383	0	0
1	69	LG	11,184	13.366	0	0	0	0	11,184	13,366
1	69	LL	0	0	8,973	10,724	8,973	10,724	0	0
1	69	LLG	0	0	10,893	13,019	10,778	12,881	12,148	14,519

### **3.4. ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO CASO BASE**

En el anexo 3 se adjunta los resultados gráficos de las simulaciones efectuadas en el Programa Power World corto circuito del caso base, que se resume a continuación.

### **3.5. CORRIENTE DE FALLA EN CADA BARRA**

En esta sección se realizaron los estudios de corto circuito, teniendo en consideración las barras a nivel de 13,8 KV cuyos circuitos equivalentes involucraran el transformador y/o conductores.

Considerando el diagrama unifilar del Figura 2.1 de la sección 2.3.2 los siguientes estudios serán para la barra 2, 3, 4 correspondientes a los cuartos eléctricos y la barra de 13,8 KV.

Los resultados mostrados a continuación se obtuvieron teniendo como base 100MVA y 13,8KV

**TABLA XV: Fallas en barra 2 Máxima generación**

Barra	kV Prefalla	Tipo falla	la	la	lb	lb	lc	lc	In	In
			[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]
2	13,8	LLLG	2,852	0,681	2,852	0,681	2,852	0,681	0	0
2	13,8	LG	2,901	0,693	0	0	0	0	2,901	0,693
2	13,8	LL	0	0	2,47	0,59	2,47	0,59	0	0
2	13,8	LLG	0	0	2,821	0,674	2,931	0,7	12,159	14,532

**TABLA XVI: Fallas en barra 3 Máxima generación**

Barra	kV Prefalla	Tipo falla	la	la	lb	lb	lc	lc	In	In
			[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]
3	13,8	LLLG	2,837	0,678	2,837	0,678	2,837	0,678	0	0
3	13,8	LG	2,887	0,69	0	0	0	0	2,887	0,69
3	13,8	LL	0	0	2,457	0,587	2,457	0,587	0	0
3	13,8	LLG	0	0	2,808	0,671	2,916	0,697	2,937	0,702

**TABLA XVII: Fallas en barra 4 Máxima generación**

Barra	kV Prefalla	Tipo falla	la	la	lb	lb	lc	lc	In	In
			[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]
4	13,8	LLLG	2,79	0,667	2,79	0,667	2,79	0,667	0	0
4	13,8	LG	2,841	0,679	0	0	0	0	2,841	0,679
4	13,8	LL	0	0	2,416	0,577	2,416	0,577	0	0
4	13,8	LLG	0	0	2,766	0,661	2,866	0,685	2,893	0,691

**TABLA XVIII: Fallas en barra 2 Mínima generación**

Barra	kV Prefalla	Tipo falla	la	la	lb	lb	lc	lc	In	In
			[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]
2	13,8	LLLG	2,825	0,675	2,825	0,675	2,825	0,675	0	0
2	13,8	LG	2,883	0,689	0	0	0	0	2,883	0,689
2	13,8	LL	0	0	2,446	0,584	2,446	0,584	0	0
2	13,8	LLG	0	0	2,799	0,669	2,908	0,695	2,941	0,703

**TABLA XIX: Fallas en barra 3 Mínima generación**

Barra	kV Prefalla	Tipo falla	la	la	lb	lb	lc	lc	In	In
			[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]
3	13,8	LLLG	2,811	0,671	2,811	0,671	2,811	0,671	0	0
3	13,8	LG	2,869	0,685	0	0	0	0	2,869	0,685
3	13,8	LL	0	0	2,434	0,581	2,434	0,581	0	0
3	13,8	LLG	0	0	2,786	0,666	2,893	0,691	2,927	0,699

**TABLA XX: Fallas en barra 4 Mínima generación**

Barra	kV Prefalla	Tipo falla	la	la	lb	lb	lc	lc	In	In
			[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]	[kA]	[p.u.]
4	13,8	LLLG	2,765	0,66	2,765	0,66	2,765	0,66	0	0
4	13,8	LG	2,823	0,674	0	0	0	0	2,823	0,674
4	13,8	LL	0	0	2,394	0,572	2,394	0,572	0	0
4	13,8	LLG	0	0	2,745	0,656	2,844	0,679	2,884	0,689

En la siguiente tabla se muestran las corrientes de falla en la barra de 69 KV referidas al lado de 13.8 KV

**TABLA XXI: Fallas referidas al lado de baja (13.8KV)**

Barra	kV Prefalla	Tipo falla	la	l'a	lb	l'b	lc	l'c	IF	I'F
			[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]
1	69	LLLG	12,509	62,545	12,509	62,545	12,509	62,545	12,509	62,545
1	69	LG	12,761	63,805	0	0	0	0	12,761	63,805
1	69	LL	0	0	10,833	54,165	10,833	54,165	0	0
1	69	LLG	0	0	12,705	63,525	12,573	62,865	13,022	65,11

### 3.6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los valores de corrientes de fallas mostrados en la tabla XXI en el lado de 69KV son muy altas debido a que la subestación TECNOVA está ubicada a 1km de la subestación PASCUALES, de tal manera que se obtiene un valor de impedancia equivalente del sistema muy pequeño en comparación con el de otras subestaciones.
- Para la coordinación que se explicara en el siguiente capítulo se utilizara únicamente los resultados de fallas para el caso de máxima generación tal como se muestra en la tabla XV, XVI y XVII, ya que se obtiene un valor menor de impedancia equivalente en comparación con los datos de mínima generación.
- Utilizando el programa de PowerWorld Simulator se calcularon los valores correspondientes de corrientes de falla, resultados que se pueden apreciar en los anexos. Estos datos proporcionan un error promedio del 3% en comparación con los datos calculados por el método de las componentes.



## **CAPÍTULO 4**

### **4. COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES**

#### **4.1. OBJETIVOS**

Si bien es cierto, resulta imposible predecir la ocurrencia de fallas, se puede mitigar el efecto de estas teniendo un buen sistema de protecciones que sea selectivo y eficaz.

Los estudios de flujo de carga y corto circuito de la subestación TECNOVA, son la base para el ajuste y coordinación de las protecciones del sistema. Dichos estudios se realizan con los siguientes objetivos:

- Determinar el ajuste de los equipos de protección, los cuales son establecidos considerando el sistema bajo condiciones de falla.
  
- Determinar la coordinación de las protecciones para la subestación TECNOVA de tal manera que sea confiable, selectivo y que cumpla con las normas eléctricas vigentes.
  
- Proporcionar una protección a las instalaciones de la Subestación TECNOVA así como brindar seguridad a las personas que laboran en la misma.

#### 4.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN

El diagrama unifilar de la subestación TECNOVA consta de modelo simple. (1 ENTRADA – 1 SALIDA). El esquema de protección es el siguiente:

- Para protección a nivel de 69 kV, se utilizará un breaker SF6 tanque vivo de marca CROMPTON GREAVES. Este equipo estará controlado por el relé digital de la marca SEL 587.
- Para protección a nivel de 13,8 kV, se utilizará un breaker en vacío tipo interior de marca Cuttler Hammer. Este equipo estará controlado por el mismo relé digital de la marca SEL 587.
- El relé SEL 587 brindará al transformador de Poder protección de sobrecorriente de fase, neutro y secuencia negativa (50/51) tanto en el lado de alta y media tensión.
- Además será ajustada la protección diferencial con y sin restricción de armónicos. (Con dos pendientes)

Las señales análogas para los relés (entrada de corriente), se utilizaran de la siguiente manera:

**TABLA XXII: Entradas análogas del Relé**

<b>EQUIPO DE PROTECCIÓN.</b>	<b>ENTRADAS ANÁLOGAS 1</b>	<b>ENTRADAS ANÁLOGAS 2</b>
RELÉ SEL 587 TRANSFORMADOR	Ct's 69 kV Desde Transformador de Poder	Ct's 15 kV Desde Transformador de Poder

## DIAGRAMA UNIFILAR

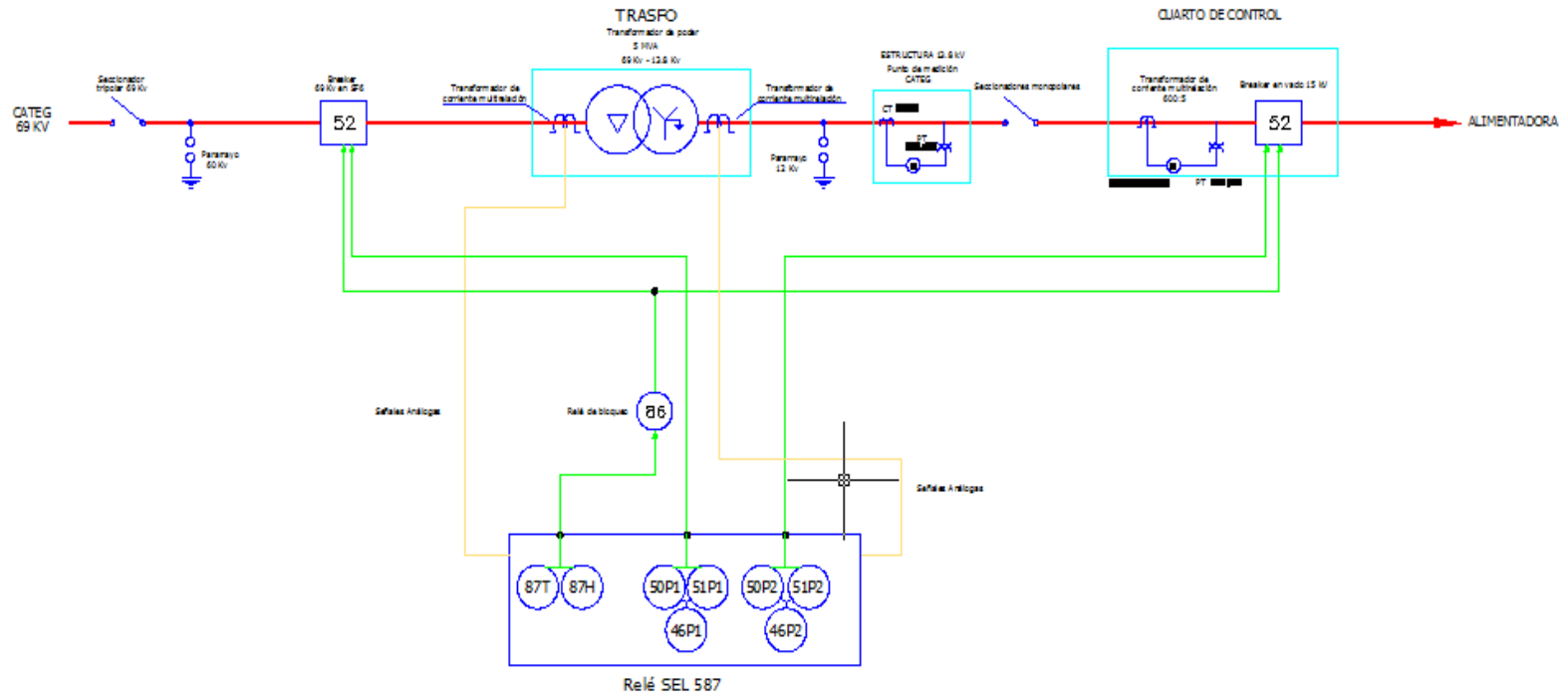
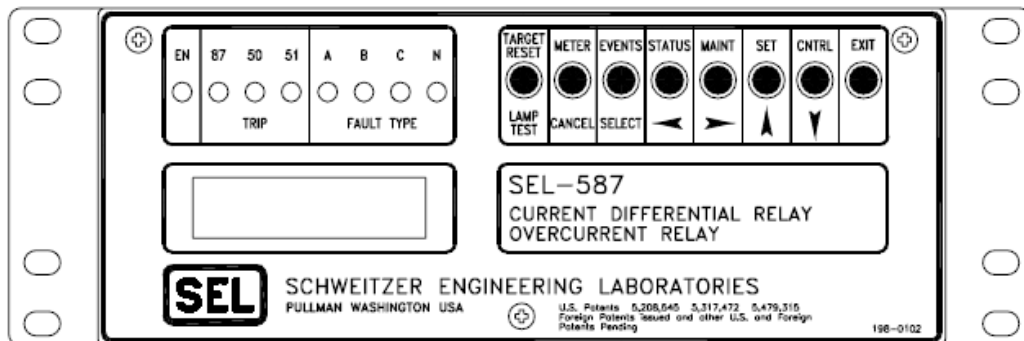


FIGURA 4.1: Esquema de Protecciones TECNOVA

### 4.3. RELÉ SEL 587

El relé SEL-587 provee protección de corriente diferencial más dos grupos completos de elementos de sobrecorriente en un paquete compacto. El relé mide las corrientes del lado de alta y del lado de baja, las cantidades de operación y retención diferencial, así como la segunda y la quinta armónica de las corrientes aplicadas. La unidad provee dos entradas optoaisladas, cuatro contactos de salida programables y un contacto de salida de alarma.

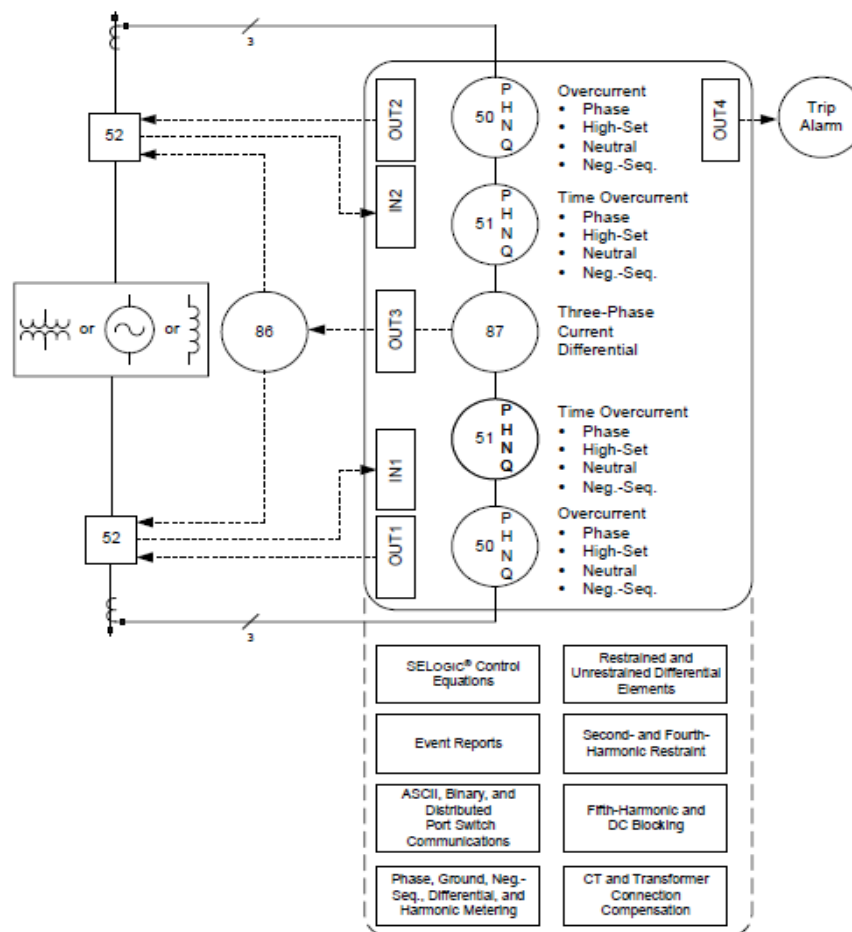


**FIGURA 4.2: Vista frontal del relé**

El relé diferencial SEL-587 provee tres elementos diferenciales con características duales de pendiente. La segunda pendiente entrega

seguridad contra saturación de TC para fallas grandes ubicadas fuera de la zona protegida<sup>(1)</sup>

#### 4.3.1. FUNCIONES DEL RELÉ SEL



**FIGURA 4.3: Funciones de protección del Relé SEL**

<sup>(1)</sup> Manual de Instrucción SEL-587-0,-1. Schweitzer Engineering Laboratories Inc.

#### **4.3.2. PROTECCIÓN DIFERENCIAL**

El relé SEL-587 incluye elementos diferenciales de corriente independientes, con retención y sin retención. El elemento con retención tiene una característica de retención de porcentaje con una pendiente dual. Donde se requiera, se puede ajustar funciones de bloqueo de segunda y quinta armónica, para proveer seguridad al elemento diferencial para condiciones sin falla. Un elemento diferencial sin retención provee un despeje más rápido en fallas internas de gran magnitud.

#### **4.3.3. PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE**

El relé SEL-587 provee elementos de sobrecorriente no direccional para los lados de alta y baja:

- Elementos de sobrecorriente de fase y residual instantáneos.
- Elementos de sobrecorriente de fase, residual y secuencia negativa de tiempo definido.
- Elementos de sobrecorriente de fase, residual y secuencia negativa de tiempo inverso.



Los ajustes de pickup de sobrecorriente y las características de operación son independientes de los ajustes del elemento diferencial.

#### **4.3.4. CONTACTOS DE SALIDA PROGRAMABLE**

El relé SEL-587 incorpora ecuaciones de control SELogic que le permiten diseñar un esquema de disparo personalizado. Las funciones con ecuaciones de control SELogic incluyen dos temporizadores independientes, disparo, generación de reporte de eventos y control del contacto de salida del relé. Un ejemplo de esta flexibilidad se muestra en la Figura 4.3, en que OUT1 y OUT2 están ajustadas para disparar en forma independiente a los interruptores del lado de alta y de baja, mientras que OUT3 opera el relé de bloqueo (lockout) del transformador y OUT4 opera el anunciador de disparo<sup>(2)</sup>.

---

<sup>(2)</sup> Manual de Instrucción SEL-587-0,-1 Schweitzer Engineering Laboratories Inc.

#### 4.4. AJUSTES Y COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES

La información básica para el ajuste y coordinación de las protecciones provienen de los estudios de flujo de carga, cortocircuito y los esquemas de protección indicados en el capítulo anterior.

##### 4.4.1. AJUSTES DEL RELÉ – PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE

Los ajustes que se realizaron al RELÉ SEL 587 en la barra 1 (69 KV) son:

**TABLA XXIII: Ajustes de Relé SEL 587 Alta**

<b>PROTECCIÓN DE FASE</b>		
<b>PARÁMETROS</b>	<b>AJUSTES</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>Pick Up</b>	49	
<b>Time Dial</b>	10,5	
<b>Tipo de Curva</b>	U.S	
<b>Estilo de Curva</b>	U4	
<b>Unidad Instantánea</b>	16	X IN
<b><i>Tiempo de disparo (Breaker)</i></b>	0,04	segundos
<b><i>Cierre de Contacto del Relé</i></b>	0,016666667	segundos
<b><i>Instantánea Temporizada</i></b>	2	ciclos
	0,033333333	segundos
<b>TIEMPO TOTAL</b>	0,056666667	segundos
<b>CT RATIO</b>	10	

Los ajustes que se realizaron al RELÉ SEL 587 en la barra 2 (13,8 KV) son:

**TABLA XXIV: Ajustes del Relé SEL 587 Baja**

<b>PROTECCIÓN DE FASE</b>		
<b>PARÁMETROS</b>	<b>AJUSTES</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>Pick Up</b>	245	
<b>Time Dial</b>	2	
<b>Tipo de Curva</b>	U.S	
<b>Estilo de Curva</b>	U4	
<b>Unidad Instantánea</b>	11,3	X IN
<b><i>Tiempo de disparo (Breaker)</i></b>	0,04	segundos
<b><i>Cierre de Contacto del Relé</i></b>	0,016666667	segundos
<b><i>Instantánea Temporizada</i></b>	2	ciclos
	0,033333333	segundos
<b><i>TIEMPO TOTAL</i></b>	0,056666667	segundos
<b><i>CT RATIO</i></b>	50	

#### **4.4.2. CÁLCULOS DE LOS AJUSTES DE PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE DE FASE**

En el diagrama unifilar de TECNOVA se encuentra un fusible aguas abajo del sistema, las curvas de tiempo inverso de dicho fusible se encuentra en el anexo 4.5, el Relé SEL 587 debe darle respaldo al mismo. A este relé lo llamaremos SEL 587 BAJA y se encuentra ubicado en la barra 2 de 13.8 KV.

El relé ubicado en la barra 1 de 69 KV, le llamaremos SEL 587 ALTA debe respaldar al relé de sobrecorriente ubicado en la barra 2 de media tensión.

Para que el **Relé SEL 587 BAJA** le dé respaldo al fusible se utiliza la curva extremadamente inversa U4 (ver anexo 4.4). La función de esta curva viene dada por la fórmula<sup>(3)</sup>:

$$tp = TD \left[ 0.0352 + \frac{5.67}{M^2 - 1} \right]$$

Dónde:

***tp*** es el tiempo de operación del Relé

***TD*** es el ajuste del Dial de Tiempo

***M*** es el múltiplo de la corriente de pickup aplicada.

Se procede a calcular la corriente de disparo del Relé, para esto utilizaremos la ecuación 4.1, la misma se encuentra detallada en el anexo 4.1.

---

<sup>(3)</sup> Manual de Instrucción SEL-587-0,-1 Schweitzer Engineering Laboratories Inc.

$$I_{pickup} = 1.3 \times 186.2 \text{ A}$$

$$I_{pickup} = 242.06$$

$$I_{pickup} \approx 242 \text{ A}$$

Este valor nos sirve para reemplazar en la función U4 del Relé por lo que procedemos a resolver las ecuaciones:

$$tp = TD \left[ 0.0352 + \frac{5.67}{\left(\frac{2852.1}{242}\right)^2 - 1} \right]$$

$$tp = TD \left[ 0.0352 + \frac{5.67}{137.90} \right]$$

$$tp = TD[0.0352 + 0.0411]$$

$$tp = TD[0.0763]$$

Para determinar el tiempo de operación del Relé utilizamos la ecuación<sup>(4)</sup>:

$$t_p = 0.4t + 0.15 \text{ segundos}$$

El tiempo de operación nominal del fusible para una falla de 2852.1 A es 0.01, al reemplazar este valor en la formula se determina que el tiempo de operación mínimo para que opere el Relé es:

$$t_p = 0.154 \text{ s}$$

Reemplazando este valor en la ecuación correspondiente:

$$0.154 = TD[0.0763]$$

$$TD = 2.02$$

$$TD = 2$$

---

<sup>(4)</sup> Network Protection and Automation Guide. Areva.

Se observa que el valor de la corriente de disparo no respeta el criterio de coordinación Relé – Fusible (anexo 4.2), sin embargo este valor esta correcto ya que visualmente en la figura 4.4 se observa que la curva del Relé SEL 587 BAJA se encuentra a la derecha de las características de tiempo inverso del fusible.

El **Relé SEL 587 ALTA** debe respaldar al Relé en la barra 2 de 13.8 KV. En este caso también seleccionamos la curva extremadamente inversa U4.

La función de U4<sup>(5)</sup> es:

$$tp = TD \left[ 0.0352 + \frac{5.67}{M^2 - 1} \right]$$

Se debe tomar en cuenta que el relé SEL 587 de ALTA debe operar si el relé SEL 587 BAJA no llegase a operar, dada esta condición el Relé SEL 587 ALTA observa una corriente de 48.4 A que es la corriente de disparo del relé 587 SEL BAJA referido a 69 KV.

---

<sup>(5)</sup> Manual de Instrucción SEL-587-0,-1 Schweitzer Engineering Laboratories Inc.

Resolviendo las ecuaciones con estas condiciones:

$$tp = TD \left[ 0.0352 + \frac{5.67}{\left(\frac{12509.7}{49}\right)^2 - 1} \right]$$

$$tp = TD \left[ 0.0352 + \frac{5.67}{65177.09} \right]$$

$$tp = TD[0.0352 + 0.0000870]$$

$$tp = TD[0.035287]$$

El Relé SEL 587 BAJA tiene el siguiente ajuste del dial:

$$TD = 2$$

Reemplazamos este valor en la ecuación y nos da el tiempo de operación en el que el relé SEL 587 ALTA funcionaria.



$$tp = 0.070574$$

El tiempo de operación del RELE SEL 587 ALTA debe considerar el intervalo entre relés (anexo 4.3), en este caso el intervalo de tiempo entre relés es 0.3s. Por lo que se debe considerar un tiempo de operación más alto, en este caso le llamaremos  $tp''$ .

$$tp'' = 0.3 + 0.070574$$

$$tp'' = 0.3706$$

Para encontrar el ajuste del Dial requerido para la coordinación reemplazamos en la formula correspondiente.

$$tp'' = TD2[0.035287]$$

$$TD2 = \frac{tp''}{0.035287}$$

$$TD2 = \frac{0.3706}{0.035287}$$

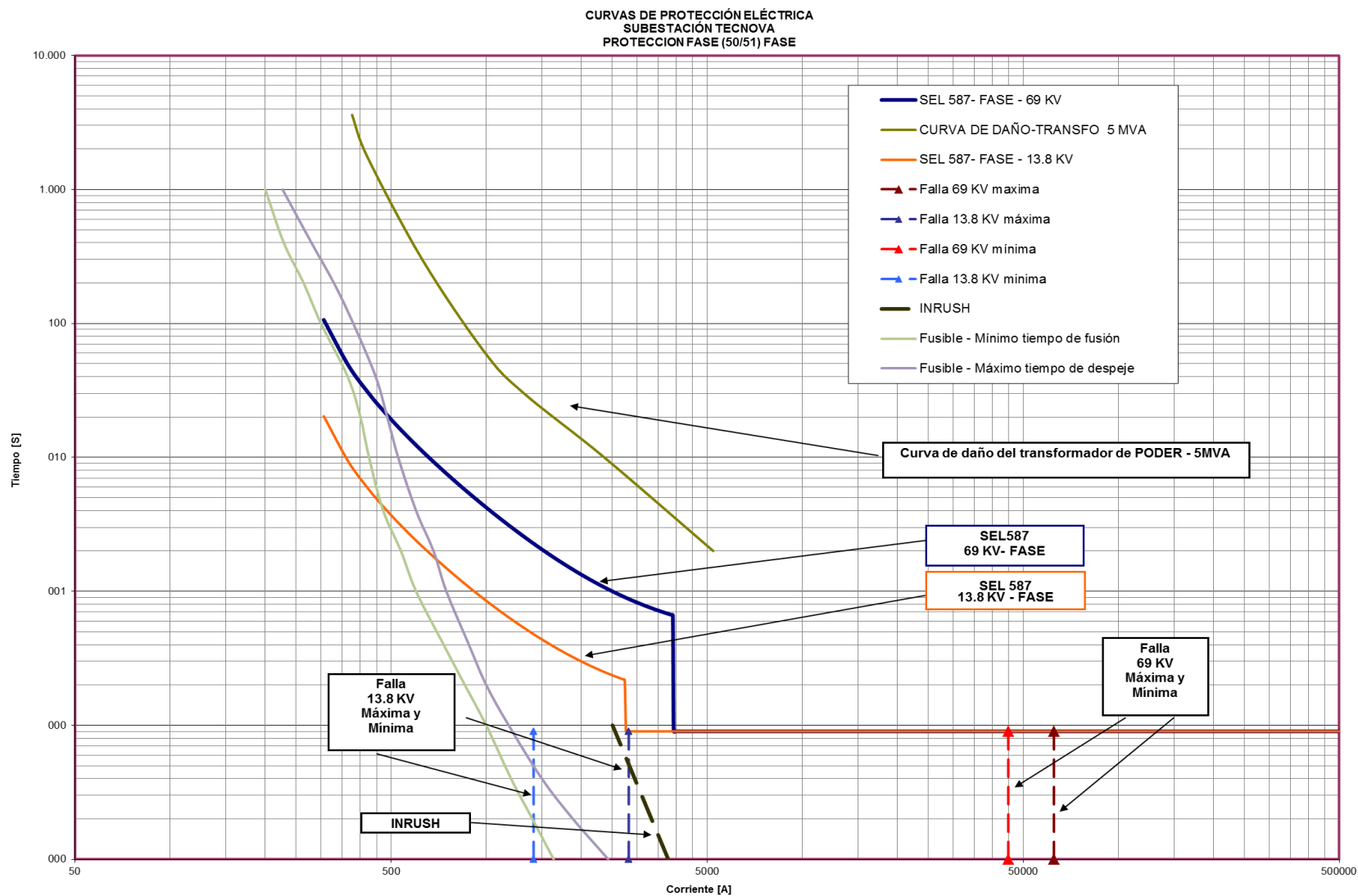
$$TD2 = 10.502$$

$$TD2 \approx 10.5$$

El ajuste del DIAL del relé SEL 587 ALTA es de 10.5.

De esta forma se han realizado los ajustes en los relés y el fusible para la protección de sobrecorriente de la subestación TECNOVA, las curvas de coordinación referenciadas a 13.8 KV se muestran en la figura 4.4.

Las corrientes de inrush y la curva de daño de transformador está calculada en los anexos 4.6 y 4.7.



**FIGURA 4.4: Coordinación de Sobrecorriente de Fase**

En la Figura 4.4 se puede observar que el fusible despeja en 2500A siempre y cuando la falla se presente aguas abajo de la barra 2.

Si la falla se da en la barra 3 y en la barra 2 el Relé SEL 587 BAJA debe operar para la falla mínima (1412.7 A) y en la falla máxima (2825.4) tiene el instantáneo que opera en 2 ciclos.

El Relé SEL 587 ALTA respalda al relé y protege tanto la barra de 2 como la barra 1. Note que para la falla máxima (62548.5 A reflejado a 13.8 KV) el relé opera instantáneamente.

Es importante tomar en cuenta que el Relé coordina con los fusibles hasta una corriente de 500 Amperios, esta corriente es 400% de la corriente de carga nominal de la barra 4.

#### **4.4.3. AJUSTES DEL RELÉ - PROTECCIÓN DEL NEUTRO**

Los ajustes que se realizaron al RELÉ SEL 587 en la barra 1 de 69 KV y la barra 2 de 13.8 KV son:

TABLA XXV: Ajustes de Relé SEL 587 Alta

<b>PROTECCIÓN DE NEUTRO</b>		
<b>PARÁMETROS</b>	<b>AJUSTES</b>	<b>UNIDADES</b>
Pick Up	4	
Time Dial	10,5	
Tipo de Curva	U.S	
Estilo de Curva	U4	
Unidad Instantánea	196	X IN
Tiempo de disparo (Breaker)	0,04	segundos
Cierre de Contacto del Relé	0,016666667	segundos
Instantánea Temporizada	0	ciclos
	0	segundos
<b>TIEMPO TOTAL</b>	0,056666667	segundos
<b>CT RATIO</b>	10	

TABLA XXVI: Ajustes de Relé SEL 587 Baja

<b>PROTECCIÓN DE NEUTRO</b>		
<b>PARÁMETROS</b>	<b>AJUSTES</b>	<b>UNIDADES</b>
Pick Up	20	
Time Dial	2	
Tipo de Curva	U.S	
Estilo de Curva	U4	
Unidad Instantánea	84	X IN
Tiempo de disparo (Breaker)	0,04	segundos
Cierre de Contacto del Relé	0,016666667	segundos
Instantánea Temporizada	0	ciclos
	0	segundos
<b>TIEMPO TOTAL</b>	0,056666667	segundos
<b>CT RATIO</b>	50	

#### 4.4.4. CÁLCULOS DE LOS AJUSTES

En este caso se ajusta el RELE SEL con el mismo tipo de curva en la protección de sobrecorriente. Las curvas de ambos relés son extremadamente inversas<sup>(6)</sup> (U4)

$$tp = TD \left[ 0.0352 + \frac{5.67}{M^2 - 1} \right]$$

Donde

***tp*** es el tiempo de operación del Relé

***TD*** es el ajuste del Dial

***M*** es el múltiplo de la corriente de pickup

Para seleccionar la corriente de disparo utilizamos un porcentaje de la corriente de carga del sistema, en este caso.

$$I_{pickup} = 0.10 \times I_{carga}$$

$$I_{pickup} = 0.10 \times 186.2$$

---

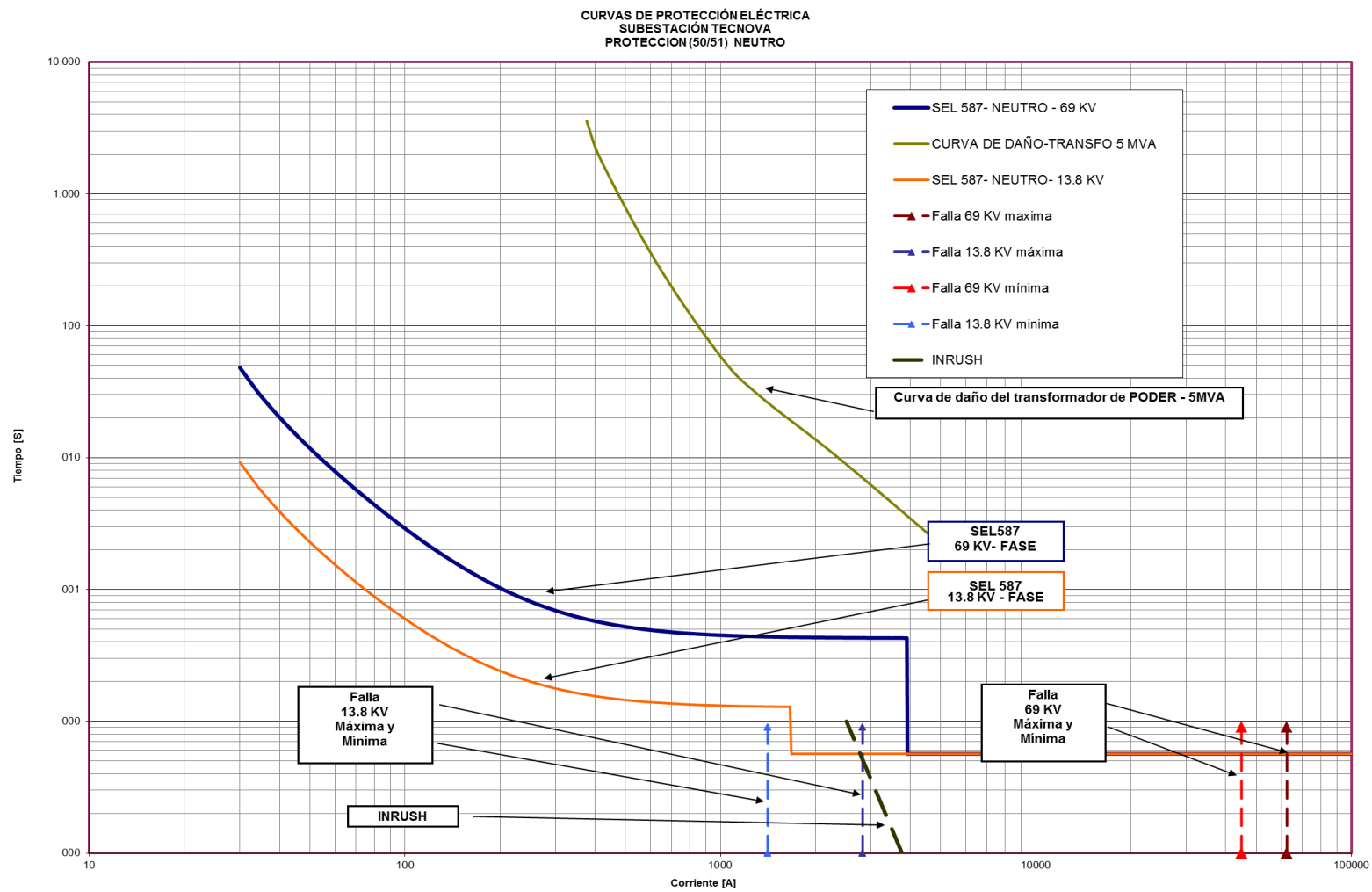
<sup>(6)</sup> Manual de Instrucción SEL-587-0,-1 Schweitzer Engineering Laboratories Inc.

$$I_{pickup} = 18.2$$

$$I_{pickup} \approx 20$$

Otra diferencia respecto a la coordinación anterior es el ajuste del instantáneo. El instantáneo se ajusta para proteger las fallas mínimas, tanto en la barra 1 de 69 KV, como en la barra 2 de 13.8 KV.

Las curvas de coordinación se muestran en la figura 4.5, referenciadas al voltaje de 13.8 KV.



**FIGURA 4.5: Protección al neutro**



Si la falla de una fase a tierra se da en la barra 2 de media tensión y en la barra 3 el Relé SEL 587 BAJA el instantáneo opera para dicha falla, esto es 1664.5 A

El Relé SEL 587 ALTA respalda al relé y protege tanto la barra 2 de 13.8KV como la barra 1 de 69 KV. Note que el relé opera para una falla de 44870 A.

En ambos casos el relé opera cuando en la red existe un desbalance de 20 A. La protección de sobrecorriente del neutro no coordina con el fusible.

#### **4.4.5. AJUSTES DEL RELÉ – SECUENCIA NEGATIVA**

Los ajustes que se realizaron al RELÉ SEL 587 en la barra 1 de 69 KV y en la barra 2 de 13.8 KV son:

TABLA XXVII: Ajustes de Relé SEL 587 Alta

<b>PROTECCIÓN DE SECUENCIA NEGATIVA</b>		
<b>PARÁMETROS</b>	<b>AJUSTES</b>	<b>UNIDADES</b>
Pick Up	86,60254038	
Time Dial	15	
Tipo de Curva	U.S	
Estilo de Curva	U4	
Unidad Instantánea	15	X IN
Tiempo de disparo (Breaker)	0,04	segundos
Cierre de Contacto del Relé	0,1	segundos
Instantánea Temporizada	4	ciclos
	0,066666667	segundos
<b>TIEMPO TOTAL</b>	0,14	segundos
<b>CT RATIO</b>	10	

TABLA XXVIII: Ajustes de Relé SEL 587 Baja

<b>PROTECCIÓN DE SECUENCIA NEGATIVA</b>		
<b>PARÁMETROS</b>	<b>AJUSTES</b>	<b>UNIDADES</b>
Pick Up	433,0127019	
Time Dial	6	
Tipo de Curva	U.S	
Estilo de Curva	U4	
Unidad Instantánea	10	X IN
Tiempo de disparo (Breaker)	0,04	segundos
Cierre de Contacto del Relé	0,1	segundos
Instantánea Temporizada	0	ciclos
	0	segundos
<b>TIEMPO TOTAL</b>	0,14	segundos
<b>CT RATIO</b>	50	

#### 4.4.6. CÁLCULOS DE LOS AJUSTES

En el caso de la protección de la secuencia negativa, se modifica la corriente de disparo<sup>(7)</sup>.

$$I = \sqrt{3}(I \text{ pickup})$$

Donde

*I* es la corriente de disparo de secuencia negativa

*Ipickup* es la corriente de disparo ajustada en la protección de sobrecorriente

En este caso las corrientes de disparo son:

#### SEL 587 ALTA

$$I = \sqrt{3}(49 \text{ A})$$

---

<sup>(7)</sup> Manual de Instrucción SEL-587-0,-1 Schweitzer Engineering Laboratories Inc.

$$I = 84.87 A$$

**SEL 587 BAJA**

$$I = \sqrt{3}(242 A)$$

$$I = 419.16 A$$

El ajuste del Dial se lo realiza tomando en cuenta de que sea mayor al ajuste del Dial en la protección de sobrecorriente.

En este caso se toma un TD = 15 para el relé SEL 587 ALTA y de TD = 6 para el relé SEL 587 BAJA

**4.4.7. AJUSTES DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL**

Los ajustes de la protección diferencial se muestran a continuación.

**TABLA XXIX: Ajustes de Relé Diferencial**

<b>I operación</b>	0.3
<b>TAP 1</b>	4.2
<b>TAP 2</b>	7.3

**4.4.8. CÁLCULO DE LOS AJUSTES**

El transformador de la subestación Tecnova es de 5 MVA y la conexión es delta en el primario y estrella en el secundario, se procede a encontrar la corriente nominal de sus devanados.

$$I_{AT} = \frac{5000}{\sqrt{3} * 69} = 41.84 \text{ A}$$

$$I_{BT} = \frac{5000}{\sqrt{3} * 13,8} = 209.2 \text{ A}$$

En el lado primario se tiene el transformador de corriente con la siguiente relación:

$$n = \frac{50}{5} = 10$$

Y en el secundario:

$$n = \frac{250}{5} = 50$$

Ahora, las corrientes secundarias del transformador son:

$$I_{SAT} = \frac{42}{10} = 4.183 \text{ A}$$

$$I_{SBT} = \frac{209.2}{50} = 4.183 \text{ A}$$

La corriente de entrada al relé es la siguiente:

$$I_{RAT} = 4,183 \text{ A}$$

$$I_{RBT} = \sqrt{3} * 4,183 = 7,245 \text{ A}$$

El fabricante del Relé SEL 587 recomienda realizar el cálculo del TAP automáticamente y en este caso el relé utiliza las siguientes formulas<sup>(8)</sup>:

$$TAP1 = \frac{MVA * 1000 * C_1}{\sqrt{3} * V_{AT} * CTR1}$$

$$TAP2 = \frac{MVA * 1000 * C_2}{\sqrt{3} * V_{BT} * CTR2}$$

Dónde:

**MVA** es la potencia aparente del Transformador

**C<sub>1</sub>** y **C<sub>2</sub>** son constantes que depende de la conexión

**VAT** es el voltaje en KV en el lado del primario

**VBT** es el voltaje en KV en el lado del secundario

**CTR1** y **CTR2** son las relaciones de los transformadores de corriente.

---

<sup>(8)</sup> Manual de Instrucción SEL-587-0,-1 Schweitzer Engineering Laboratories Inc.

Según la conexión del transformador: (anexo 4.8)

$$C_1 = 1$$

$$C_2 = \sqrt{3}$$

Reemplazando los valores correspondientes encontramos:

$$\text{TAP1} = 4.2$$

$$\text{TAP2} = 7.3$$

El relé SEL 587 calcula el TAP con las siguientes limitaciones<sup>(9)</sup>:

1. Los ajustes de TAP están en el rango de  $0.1 \times (I_n)$  y  $32 \times (I_n)$

2. La razón,  $\frac{\text{TAPmax}}{\text{TAPmin}} \leq 4.5$

---

<sup>(9)</sup> Manual de Instrucción SEL-587-0,-1 Schweitzer Engineering Laboratories Inc.



Comprobando:

$$TAP_{\min} = 0.1 * 5 = 0.5$$

$$TAP_{\max} = 32 * 5 = 160$$

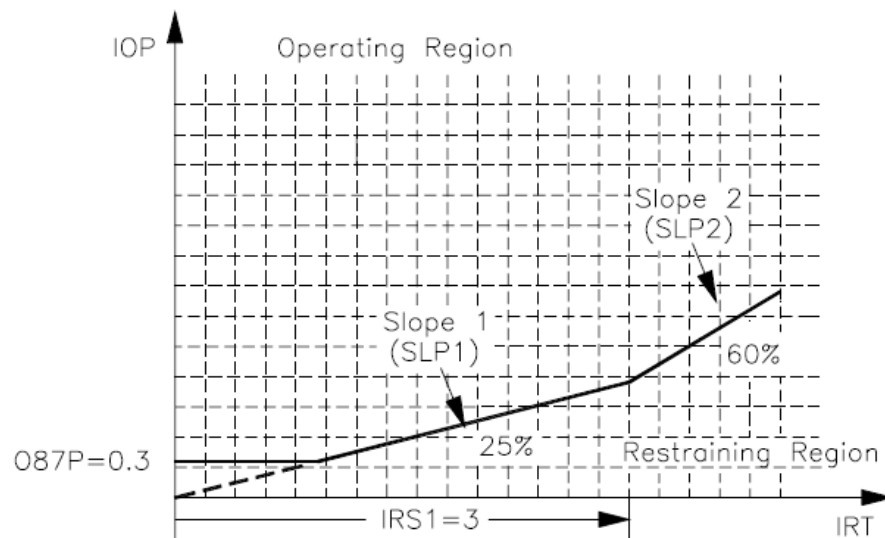
$$\frac{7.3}{4.2} = 1.74 \leq 4.5$$

#### **4.4.9. CARACTERÍSTICA DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL**

La característica del elemento diferencial puede ser ajustada ya sea como una característica diferencial de porcentaje con una pendiente o como una característica diferencial de porcentaje variable con doble pendiente.

Una aplicación diferencial de porcentaje con dos pendientes o variable, mejora la sensibilidad en la región donde el error del CT es más pequeño e incrementa la seguridad en la región de alta corriente, donde el error del CT es más grande.

Ambas pendientes deben ser definidas con el límite de la pendiente 1 ó punto de cruce, IRS1. Si se asume un error del TC solamente del 1 por ciento, SLP1 puede ser ajustado cercano al 25 por ciento. Una buena elección para IRS1 es cercano a 3.0 en por unidad del TAP, mientras que SLP2 probablemente debería ser ajustado en el rango del 50 al 60 por ciento, para evitar problemas con la saturación del TC para altas corrientes. Un ajuste de SLP2 del 60 por ciento cubre el error del TC hasta cerca del 20 por ciento<sup>(10)</sup>.



**FIGURA 4.6: Característica de la protección diferencial – SEL 587**

<sup>(10)</sup> Manual de Instrucción SEL-587-0,-1 Schweitzer Engineering Laboratories Inc.

En el caso de TECNOVA, el error del transformador de corriente, e, es igual a  $\pm 10$  por ciento. En por unidad:  $e = 0.1$  La variación de la razón de voltaje del cambiador de taps del transformador de poder es desde el 95 por ciento al 105 por ciento. En por unidad:  $a = 0.05$ .

La corriente máxima diferencial (que representa un error) se puede expresar como un porcentaje de la corriente del enrollado<sup>(11)</sup>:

$$\%error = (1 + e) - \frac{(1 - e)}{(1 + a)}$$

$$\%error = (1 + 0.1) - \frac{(1 - 0.05)}{(1 + 0.1)}$$

$$\%error = 23.6\%$$

Además del error calculado arriba, se tiene que considerar errores adicionales debido a la corriente de excitación del transformador

---

<sup>(11)</sup> Manual de Instrucción SEL-587-0,-1 Schweitzer Engineering Laboratories Inc.

( $\approx 3\%$ ) y al error de medida del relé ( $\leq 5\%$ ). El error total máximo llega al 32%. Por lo tanto, si sólo se usa una pendiente, un ajuste conservador de la pendiente, es cercana al 35% por ciento. Esto representa una aplicación diferencial de porcentaje fijo y es un buen ajuste promedio para cubrir el rango de corriente completo.

Una segunda pendiente con un valor del 60% cubre el error del CT hasta cerca del 20%.

#### 4.4.10. RESUMEN DE AJUSTES

Los ajustes de las diferentes Protecciones se muestran en las siguientes tablas.

**TABLA XXX: Protección de sobrecorriente**

Relé o Fusible	Ajustes del Relé					
	Corriente de Carga	Corriente de falla max.	Relación TC	Corriente Nominal del Fusible	Ajuste de Corriente	
					I pickup	TD
	(A)	(kA)			(A)	
100 E	126	2,5		225		
SEL 587 BAJA	186	2,85	50		245/2768.5	2
SEL 587 ALTA	37.2	62,55	10		49/3920	10,5

**TABLA XXXI: Protección de sobrecorriente del neutro**

Relé o Fusible	Ajustes del Relé					
	Corriente de Carga	Corriente de falla max.	Relación TC	Corriente Nominal del Fusible	Ajuste de Corriente	
					I pickup	TD
	(A)	(kA)			(A)	
100 E	126	2,5		225		
SEL 587 BAJA	186	2,85	50		20/1680	2
SEL 587 ALTA	37.2	62,55	10		4/3920	10,5

**TABLA XXXII: Protección Diferencial**

<b>I operación</b>	0.3
<b>TAP 1</b>	4.2
<b>TAP 2</b>	7.3

#### 4.4.11. CONCLUSIONES

El estudio de protecciones la subestación TECNOVA

- La subestación cuenta con las protecciones de sobrecorriente y diferencial. Pese a ser una subestación relativamente pequeña tiene un alto nivel de protección.
- La aplicación del Estudio permitirá mejorar el despeje oportuno y selectivo de las fallas del sistema, esto ayudara a proteger la inversión que realizo la empresa.
- La protección diferencial se ajusta automáticamente, el RELE SEL 587 presenta esta ventaja, además recomienda que las conexiones de los TC sean en ambos lados del transformador de tipo estrella. En el caso de TECNOVA se conectaron los transformadores de corrientes de la manera tradicional.
- Los protección de sobrecorriente considera al fusible aguas abajo, en la coordinación existente realizada por Inproel no

existía un fusible de protección debido a que se realizaron cambios en los cuartos eléctricos de la empresa, este fusible se encontraba sin respaldo debido a que se encontraba a la derecha de las curvas del relé. En la coordinación actual el relé da respaldo al fusible.



## CONCLUSIONES

1. Conocer la topología del sistema permite clasificar las zonas de protección, la subestación TECNOVA es la zona de más alto riesgo del sistema debido a que se encuentra el transformador de potencia; el RELE SEL 587 es el que se encarga de proteger esa zona y dar respaldo a los fusibles y breakers aguas abajo de la subestación.
2. Las elevadas corrientes de falla que se presentan en la subestación TECNOVA inciden directamente en las curvas de coordinación y en la elección de los transformadores de corriente. Se realizaron consideraciones especiales en el instantáneo para ahorrar costos y no sobredimensionar los transformadores de corriente.
3. Económicamente el tener un buen sistema de protecciones representa minimizar riesgos; por lo general los equipos eléctricos implican altos costos y es esencial proteger la inversión del cliente.

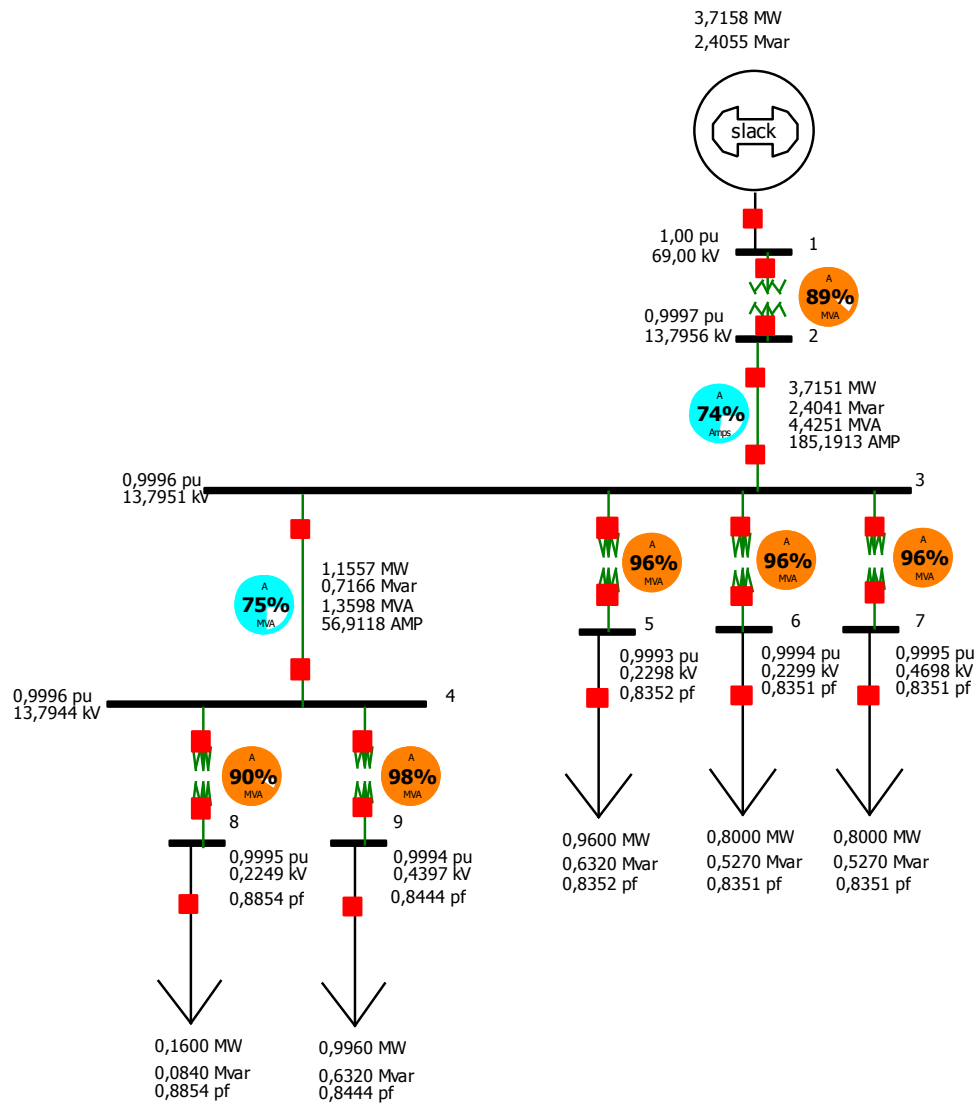
4. La coordinación de protecciones de TECNOVA represento una buena experiencia para reforzar conocimientos y tener criterios básicos para realizar estudios de coordinación en el futuro.

## RECOMENDACIONES

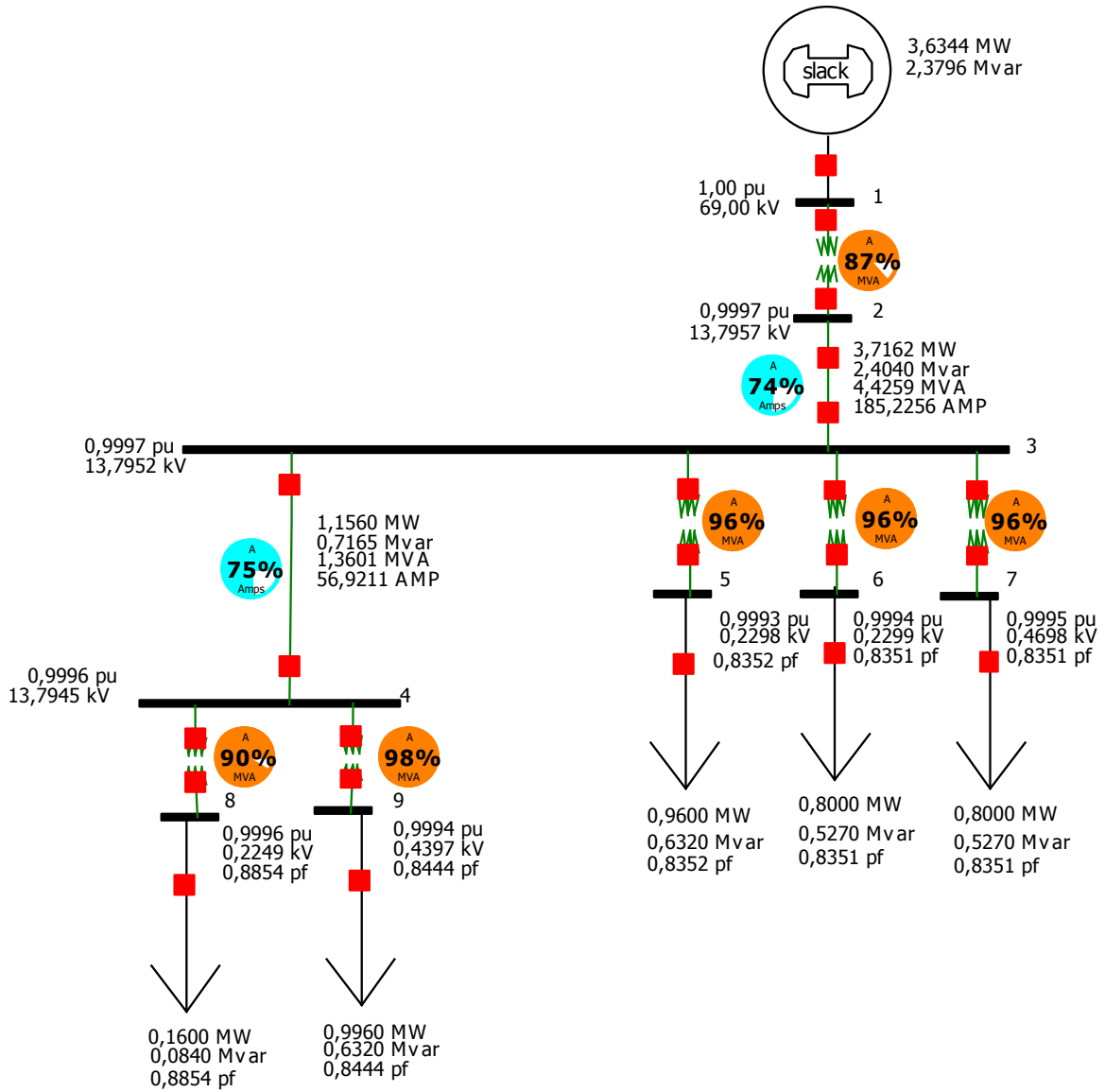
- 1.- El Relé SEL 587 es un equipo de bajo costo y altamente eficiente, se recomienda leer el manual de instrucción para evitar malas maniobras del operador.
- 2.- Es importante analizar las corrientes de falla en el sistema ya que influyen directamente en la coordinación. La empresa eléctrica local puede proporcionar información que esté incompleta por lo que recomendamos que al comenzar un estudio de coordinación se verifique dicha información.
- 3.- El departamento de mantenimiento eléctrico de la empresa TECNOVA debe ajustar las protecciones al momento de haber cambios o aumentos de carga en la empresa, nos encontramos con una serie de cambios que no estaban incluidos en el estudio de protecciones y que podrían afectar la operación del Relé.

# **ANEXOS**

## ANEXO 2.1: Flujo de carga Sistema Eléctrico Tecnova. (Máxima Carga)

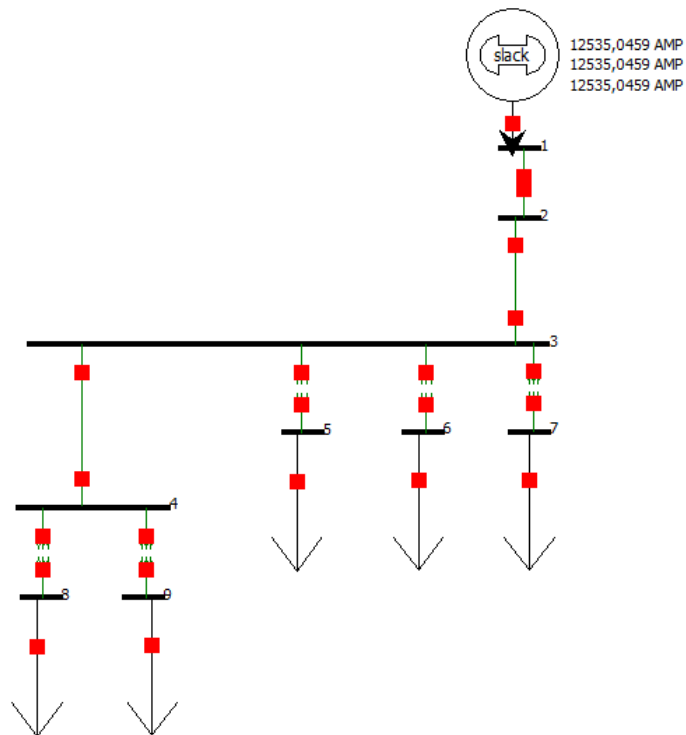


## ANEXO 2.2: Flujo de carga Sistema Eléctrico Tecnova. (Mínima Carga)

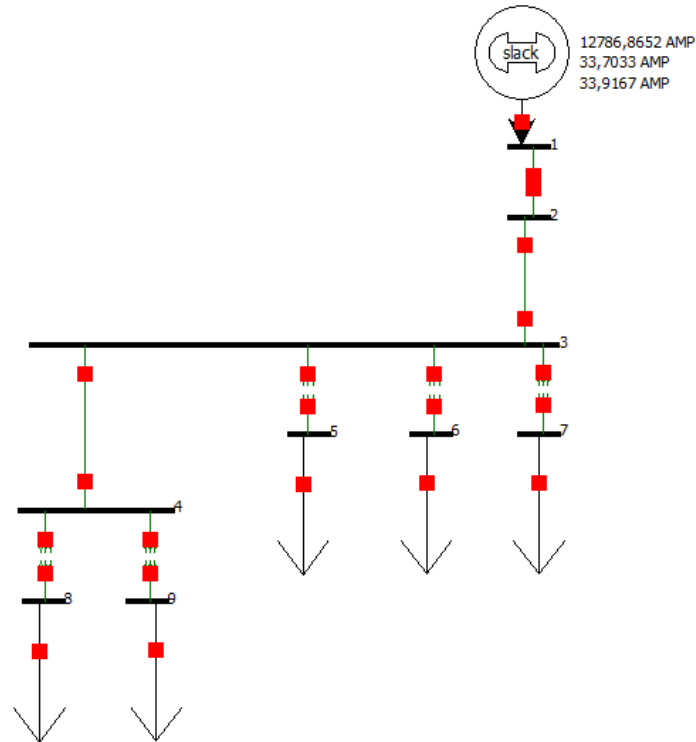


En las imágenes y tablas que se verán a continuación fueron obtenidos a través del programa Powerworld, en la cual se realizó los estudios de cortocircuito, cuyos datos de impedancias equivalentes (sección 3.2.1.), datos de transformadores y conductores (sección 2.3.1, sección 2.3.2) fueron ingresados para la verificación y comparación con los resultados entregados por la Empresa Eléctrica.

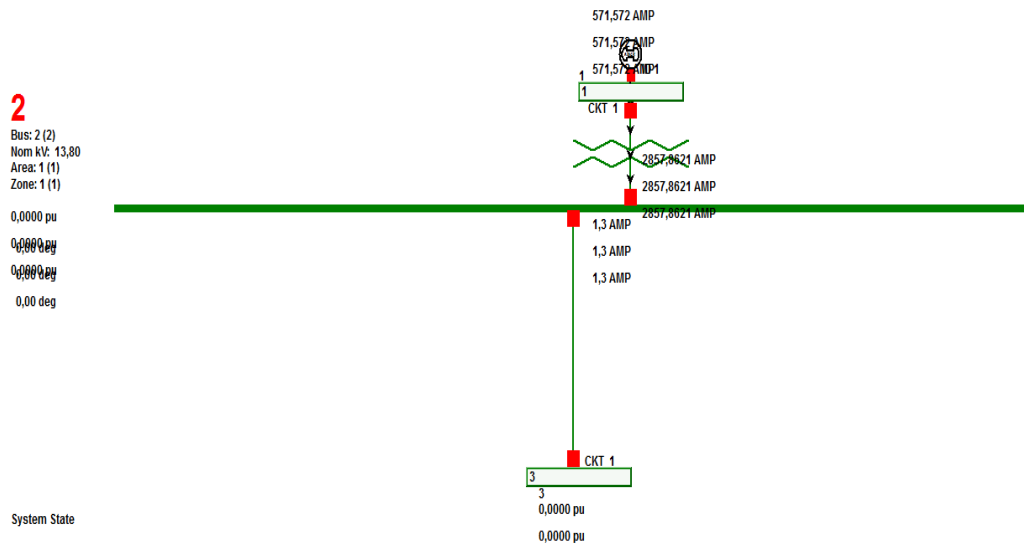
### ANEXO 3.1: Falla Trifásica en la Barra 1 Máxima generación



### ANEXO 3.2: Falla monofásica en la Barra 1 Máxima generación

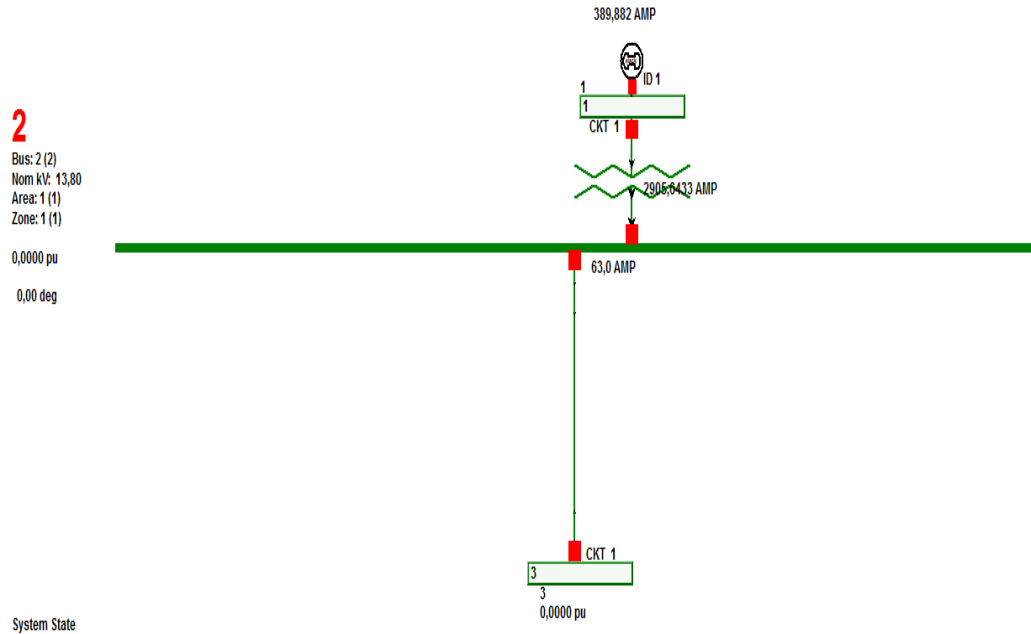


### ANEXO 3.3: Falla trifásica en la Barra 2 Máxima generación

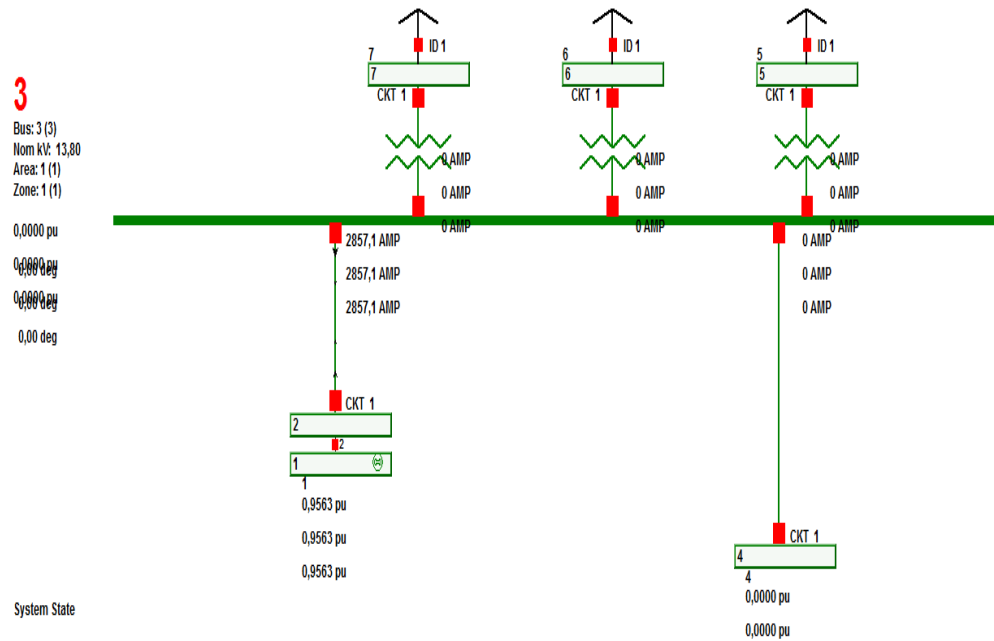




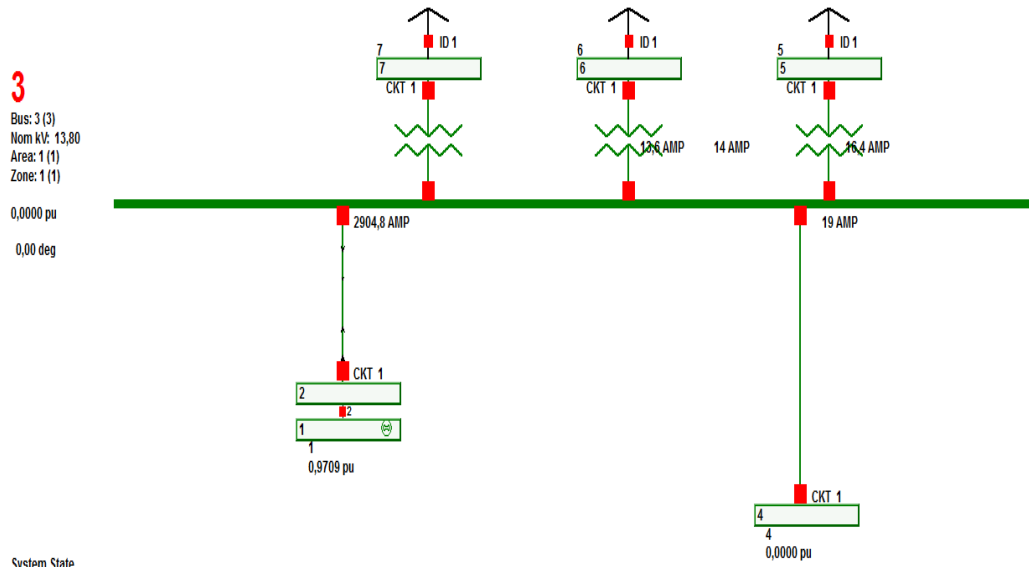
### ANEXO 3.4: Falla monofásica en la Barra 2 Máxima generación



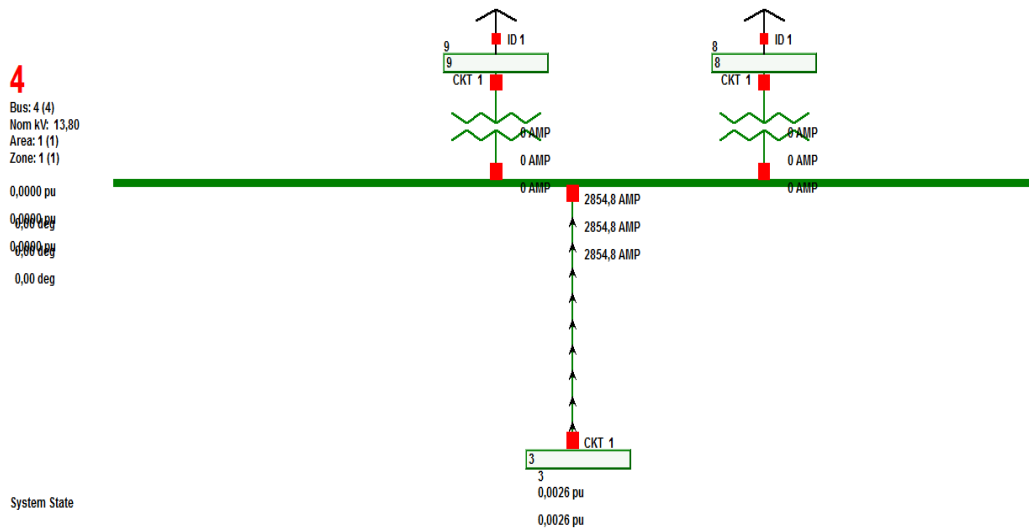
### ANEXO 3.5: Falla trifásica en la Barra 3 Máxima generación



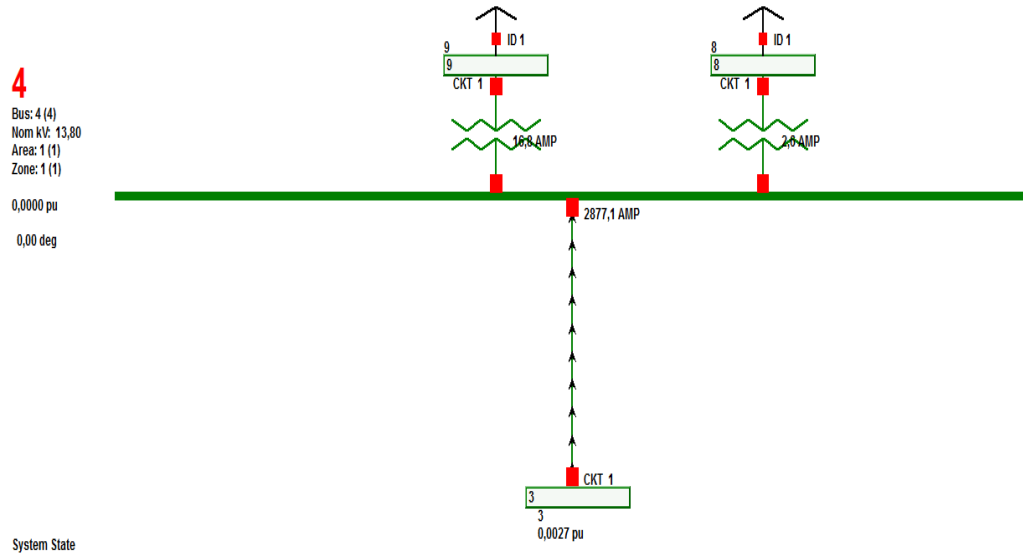
### ANEXO 3.6: Falla monofásica en la Barra 3 Máxima generación



### ANEXO 3.7: Falla trifásica en la Barra 4 Máxima generación



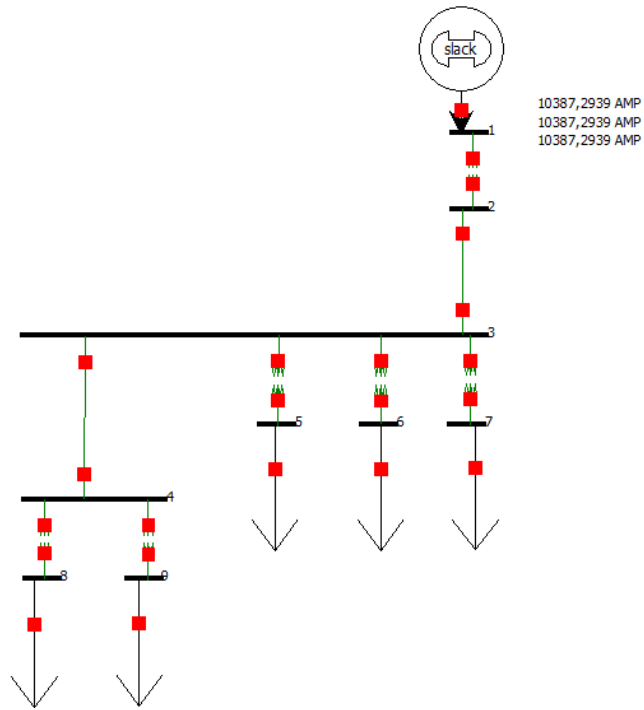
### ANEXO 3.8: Falla monofásica en la Barra 4 Máxima generación



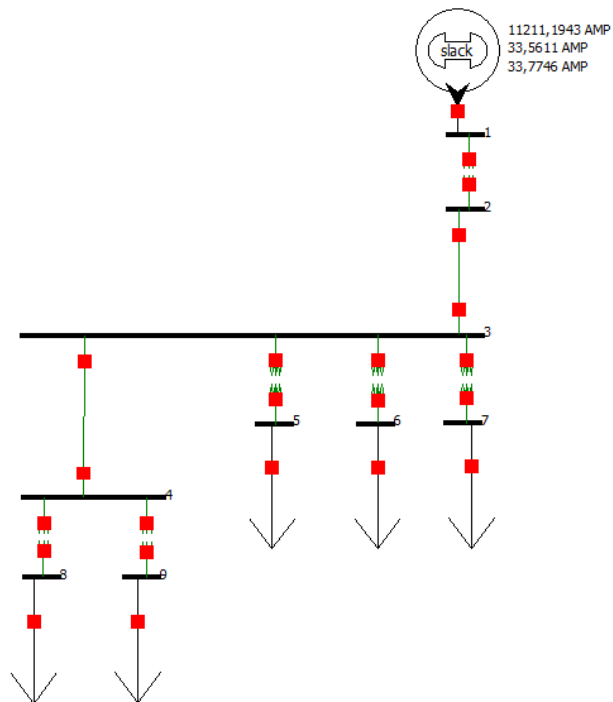
**TABLA 3.1: Resultados de simulación de fallas en las barras**

Barra	KV Prefalla	Falla LLLG		Falla LG		Falla LLG		Falla L-L	
		p.u.	Amperios	p.u.	Amperios	p.u.	Amperios	p.u.	Amperios
1	69	14,981	12535,1	15,272	12778,6	15,574	13031,5	12,974	10855,7
2	13,8	0,683	2858,03	0,686	2869,39	0,687	2876,28	0,592	2475,12
3	13,8	0,683	2857,31	0,686	2868,65	0,687	2875,52	0,591	2474,5
4	13,8	0,682	2854,8	0,685	2866,31	0,687	2873,37	0,591	2472,33

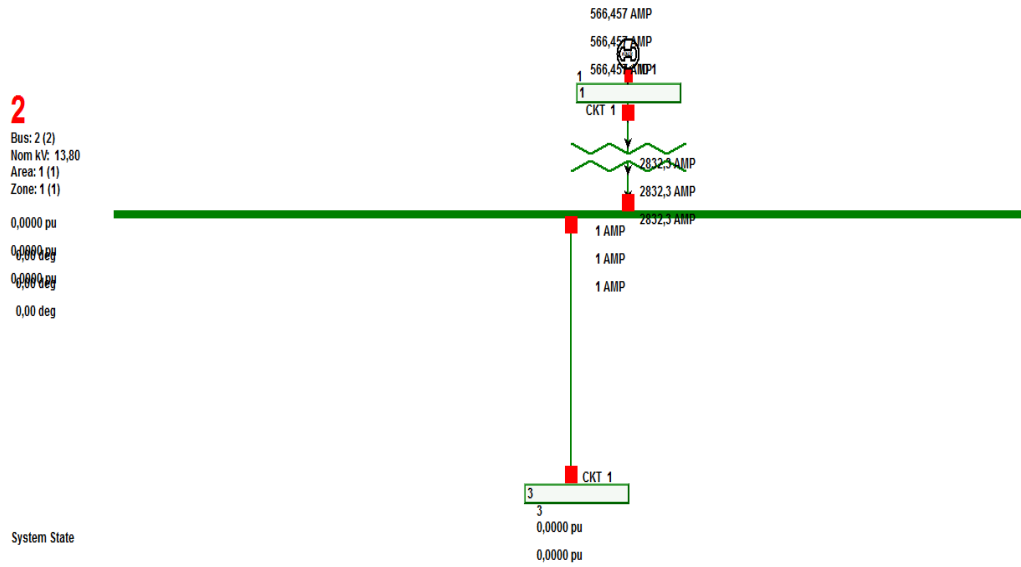
### ANEXO 3.9: Falla trifásico en la Barra 1 Mínima generación



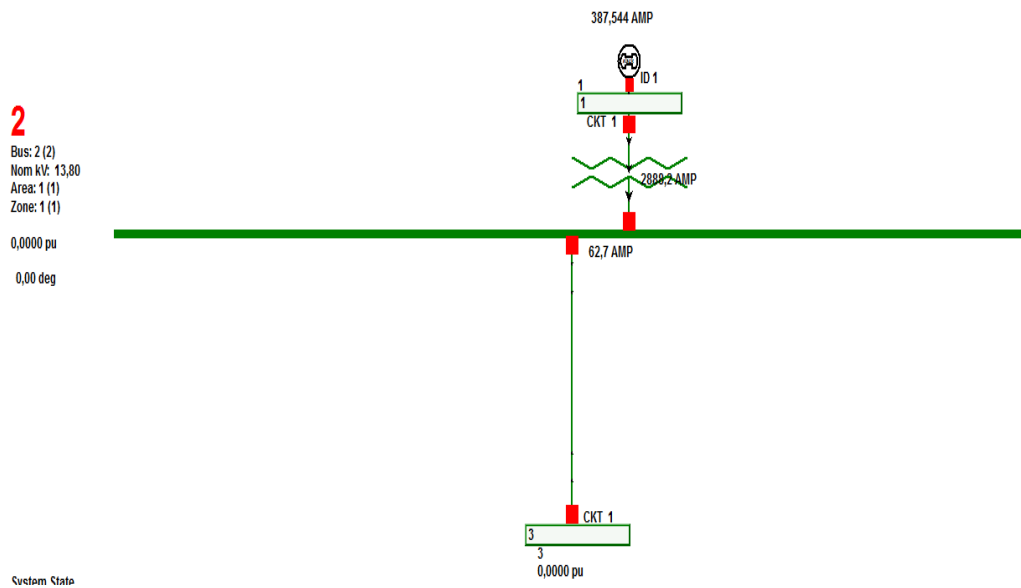
**ANEXO 3.10: Falla monofásica en la Barra 1 Mínima generación**



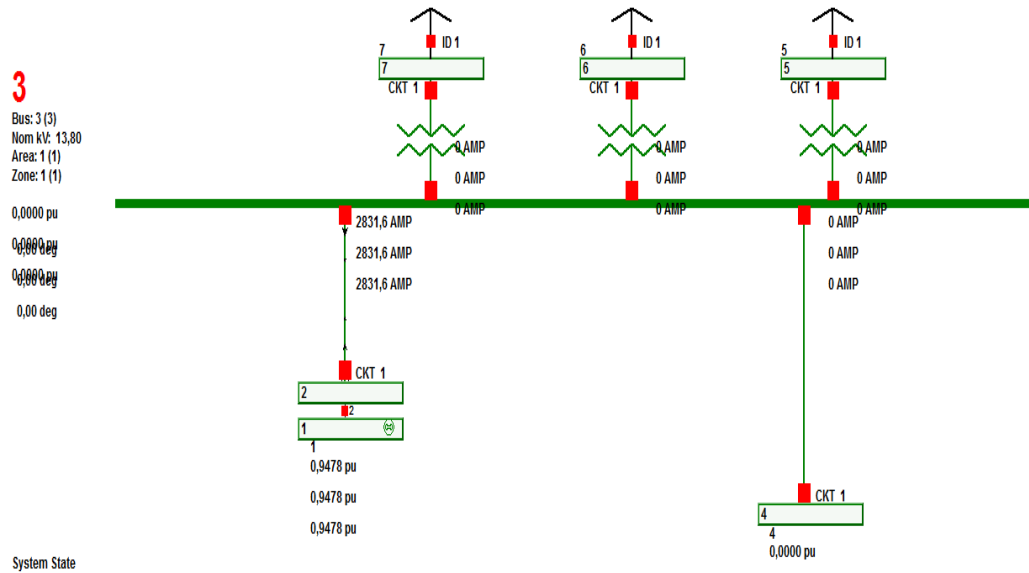
### ANEXO 3.11 Falla trifásica en la Barra 2 Mínima generación



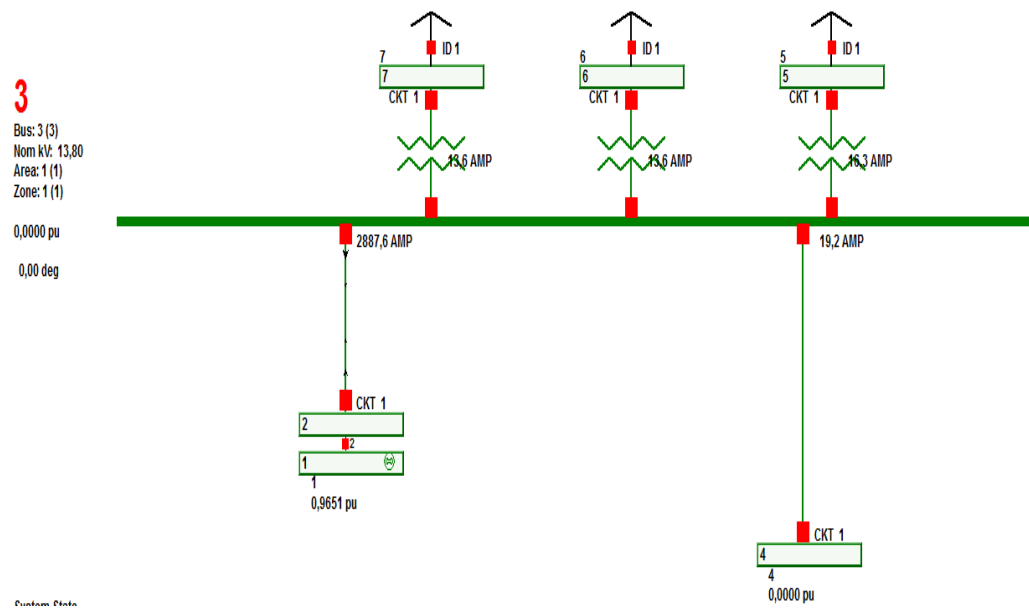
### ANEXO 3.12: Falla monofásica en la Barra 2 Mínima generación



### ANEXO 3.13: Falla trifásica en la Barra 3 Mínima generación



### ANEXO 3.14: Falla monofásica en la Barra 3 Mínima generación



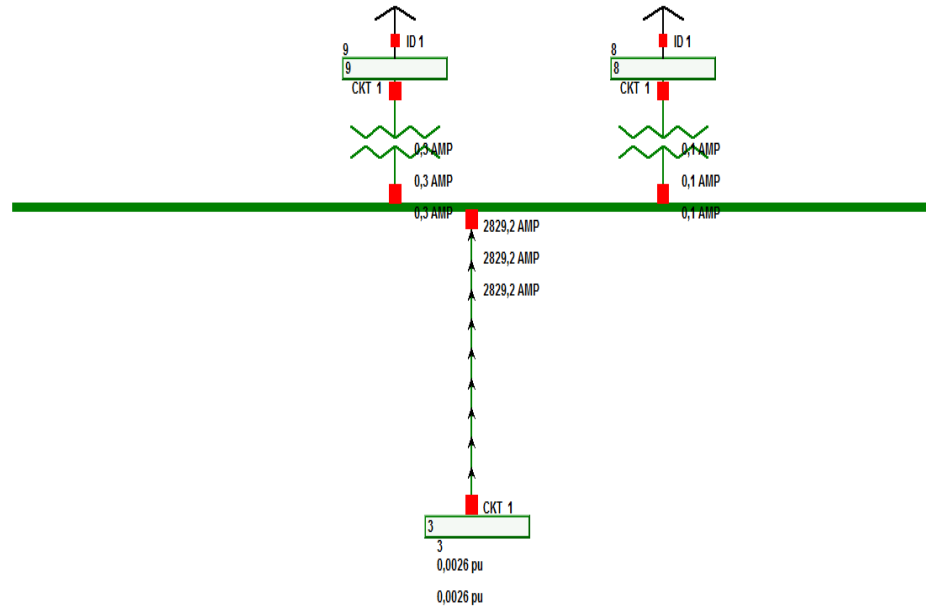
### ANEXO 3.15: Falla trifásica en la Barra 4 Mínima generación

**4**

Bus: 4 (4)  
 Nom kV: 13,80  
 Area: 1 (1)  
 Zone: 1 (1)

0,0000 pu  
 0,0000 pu  
 0,0000 pu  
 0,00 deg

System State



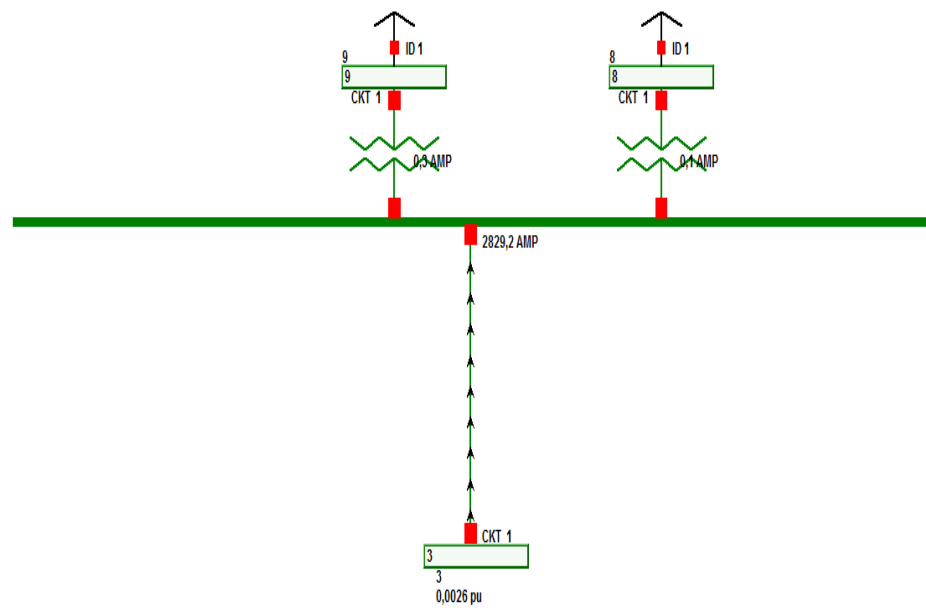
### ANEXO 3.16: Falla monofásica en la Barra 4 Mínima generación

**4**

Bus: 4 (4)  
 Nom kV: 13,80  
 Area: 1 (1)  
 Zone: 1 (1)

0,0000 pu  
 0,00 deg

System State



**TABLA 3.2: Resultados de simulación en las barras**

Barra	KV Prefalla	Falla LLLG		Falla LG		Falla LLG		Falla L-L	
		p.u.	Amperios	p.u.	Amperios	p.u.	Amperios	p.u.	Amperios
1	69	12,414	10387,3	13,39	11204	14,532	12159,7	10,751	8995,7
2	13,8	0,677	2832,47	0,682	2852,22	0,685	2867,67	0,586	2452,99
3	13,8	0,677	2831,76	0,682	2851,49	0,685	2866,92	0,586	2452,38
4	13,8	0,586	2452,9	0,681	2849,18	0,685	2864,78	0,586	2450,24



#### **ANEXO 4.1: Selección de la corriente de disparo**

En el caso de TECNOVA la corriente de disparo la seleccionaremos utilizando la siguiente ecuación.

$$I_{pickup} = 1.30 \times I_{carga}$$

Ecuación (4.1)

Dónde:

***I<sub>carga</sub>*** es la corriente a plena carga del sistema.

#### **ANEXO 4.2: Coordinación Relé – Fusible**

Para garantizar una coordinación satisfactoria entre el relé y el fusible, el ajuste de corriente primario del relé debe ser aproximadamente tres veces el valor de corriente de operación del fusible.

El intervalo de tiempo entre el relé y el fusible para una apropiada coordinación, cuando es expresada como una cantidad fija, no debe ser

menos que 0.4s o cuando está expresada como una cantidad variable, debe tener un valor mínimo de:

$$t_p = 0.4t + 0.15 \text{ segundos}$$

Ecuación (4.2)

Dónde:

$t$  es el tiempo de operación nominal del fusible.

#### **ANEXO 4.3: Coordinación Relé - Relé**

Se considera un intervalo de ajuste de 0.3s entre relés ya que es el cálculo de uso común. Si la tecnología del Relé es distinta se utiliza la siguiente tabla:

**TABLA 4.1: Errores de tiempo de relé típicos**

Tecnología de Relé				
	<b>Electromecánica</b>	<b>Estática</b>	<b>Digital</b>	<b>Numérico</b>
Error de tiempo (%)	7.5	5	5	5
Tiempo overshoot (s)	0.05	0.03	0.02	0.02
Margen de seguridad (s)	0.1	0.05	0.03	0.03
Coordinación (s)	0.4	0.35	0.3	0.3

## ANEXO 4.4: Características de tiempo inverso SEL 587

El Relé SEL 587 presenta las siguientes características de curvas para realizar los ajustes.

### Formas de curvas US

- U1: Moderadamente inversa

$$tp = TD \left[ 0,0226 + \frac{0,0104}{M^{0,02} - 1} \right]$$

Ecuación (4.3)

- U2: Inversa

$$tp = TD \left[ 0,180 + \frac{5,95}{M^2 - 1} \right]$$

Ecuación (4.4)

- U3: Muy inversa

$$tp = TD \left[ 0,0963 + \frac{3,88}{M^2 - 1} \right]$$

Ecuación (4.5)

- U4: Extremadamente inversa

$$tp = TD \left[ 0,0963 + \frac{3,88}{M^2 - 1} \right]$$

Ecuación (4.5)

Donde

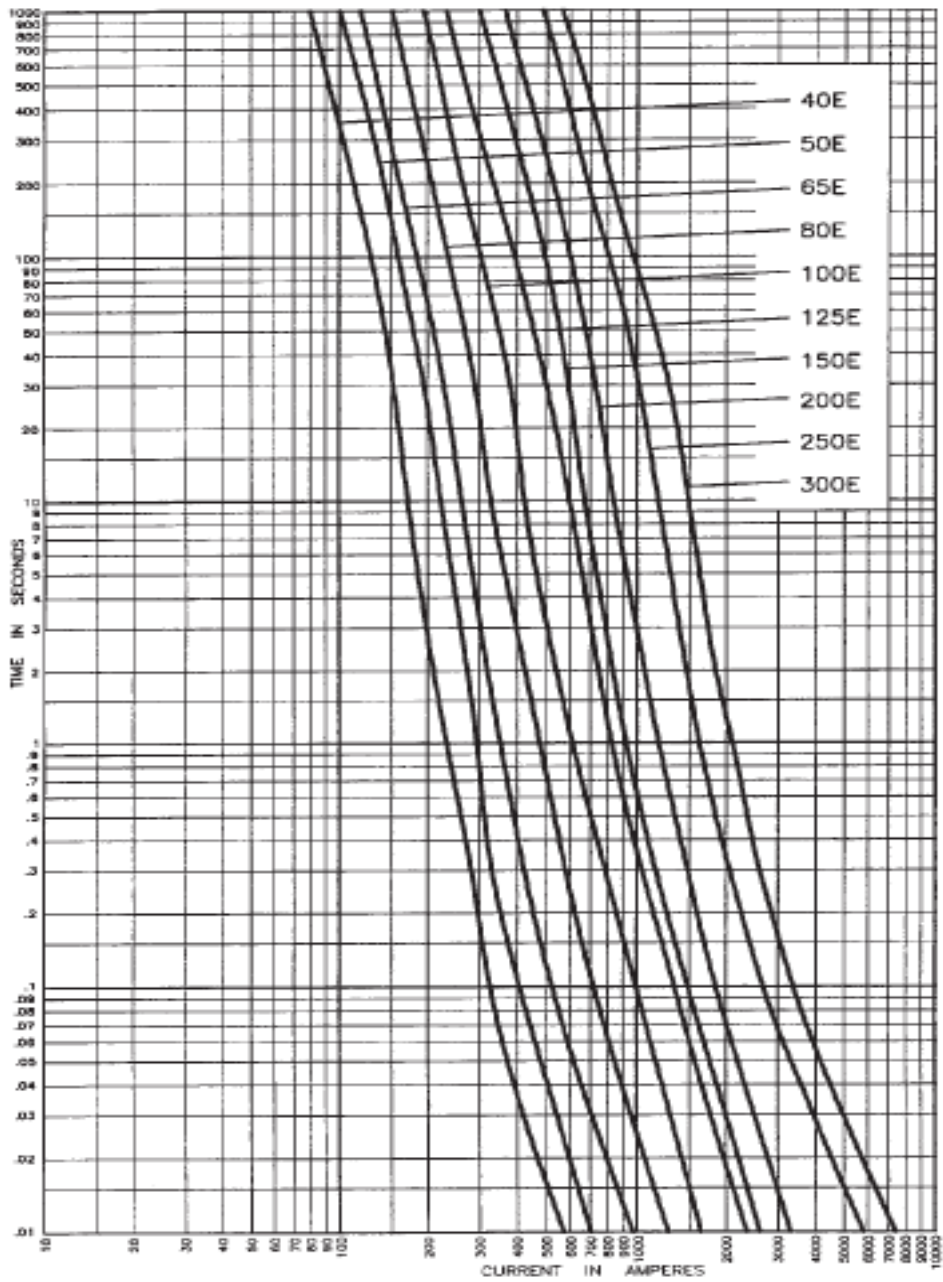
***tp*** es el tiempo de operación del Relé en segundos

***TD*** es el ajuste del Dial de Tiempo

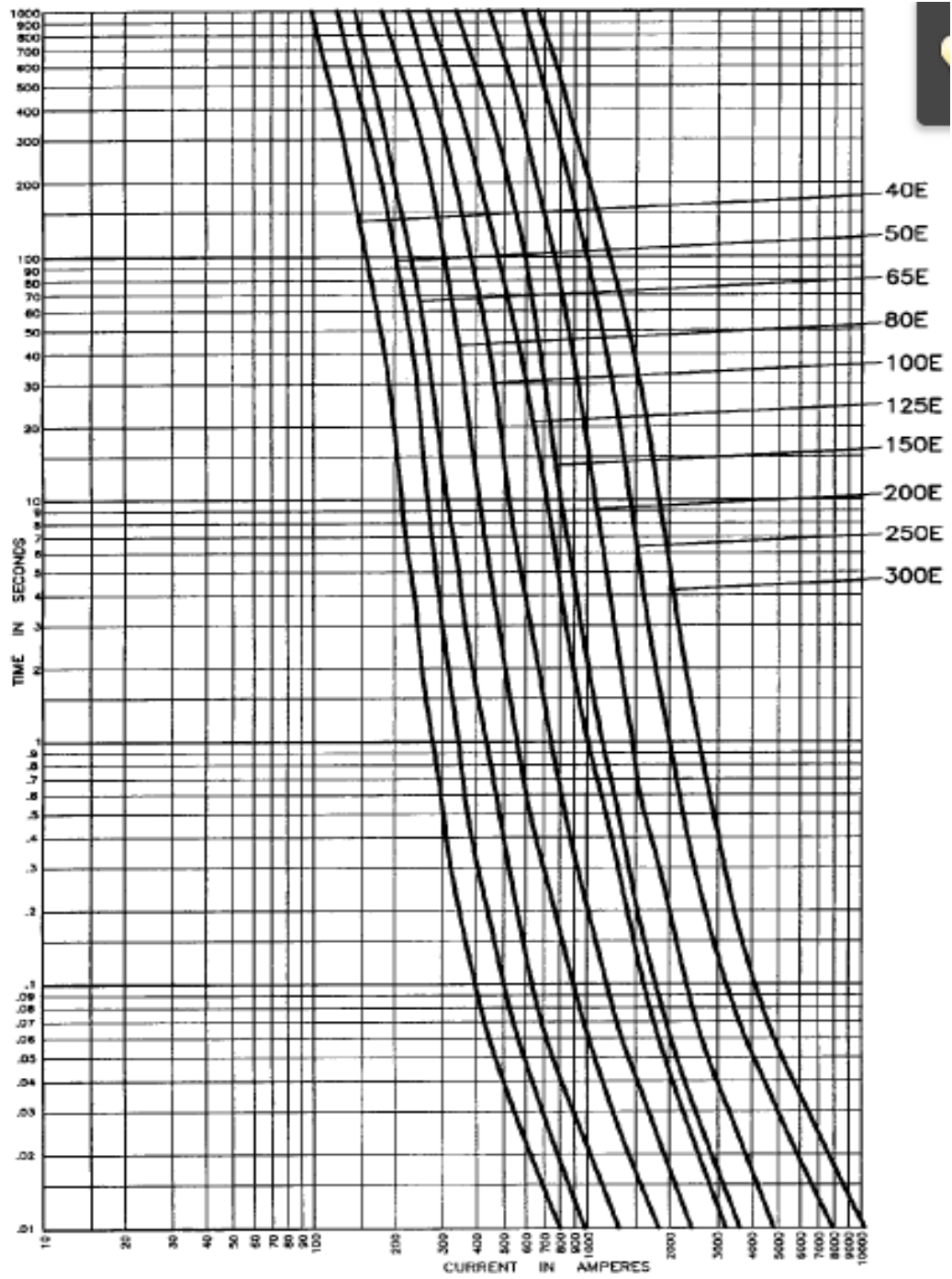
***M*** es el múltiplo de la corriente de pickup aplicada.

#### **ANEXO 4.5: Características de los fusibles**

El fusible de mayor capacidad de TECNOVA se encuentra en el cuarto de celdas en el cuarto eléctrico principal. El fusible es de la marca BUSSMAN (COOPER). A continuación se presentan las curvas características de mínimo tiempo de fusión y máximo tiempo de despeje.



**FIGURA 4.1: Mínimo tiempo de Fusión**



**FIGURA 4.2: Máximo tiempo de despeje**

#### **ANEXO 4.6: Curva de corrientes transitorias**

Cuando un transformador se energiza, existe una corriente de excitación cuya magnitud viene definida por el flujo residual en el núcleo del transformador y el punto de conexión en la curva de tensión. Se ha establecido una curva definida por los siguientes puntos según la NTC 2797.

**TABLA 4.2: Curva de Inrush según NTC2797**

<b>Tiempo (segundos)</b>	<b>Veces de la corriente nominal</b>
0.01	25.0
0.1	12

En este caso la curva de inrush queda definida por la siguiente tabla:

**TABLA 4.3: Cálculo de la Curva de Inrush**

<b>Tiempo (segundos)</b>	<b>Multiplos Corriente</b>	<b>REFLEJADO A 69 KV</b>	<b>REFLEJADO A 13.8 KV</b>
0,01	18	753,0655685	3765,327843
0,1	12	502,0437123	2510,218562

#### **ANEXO 4.7: Carga con base en las sobrecargas de corta duración sin afectar la vida esperada normal del transformador**

Los transformadores pueden operarse por encima 110°C, promedio de temperatura del punto más caliente, durante cortos periodos o durante periodos más largos con temperaturas inferiores a 110°C, debido a que el envejecimiento térmico es un proceso acumulativo. Las cargas sugeridas para la vida normal esperada están dadas en las tablas de la norma ANSI/IEEE C57.91 – 1981, basadas en una vida mínima de 20 años con una temperatura continua del punto más caliente de 110°C. La determinación del porcentaje de pérdida de vida está basada en ciclos de carga de 24 h y una mínima duración de vida de 20 años. Las máximas pérdidas de vida son de 0.0137% día.

La característica de soporte de sobrecarga está dada por los siguientes puntos, asumiendo una temperatura ambiente de 20°C y una precarga precedente = 90%, como se indica en la Tabla 7 de la norma ANSI/IEEE C57.91 – 1981 (Figura 3, Segmento C).



**TABLA 4.4: Curva ANSI según IEEE**

<b>Tiempo (Segundos)</b>	<b>Veces la corriente Nominal</b>
3600	2.02
1800	2
300	3
60	4.75
30	6.3
10	11.3
2	25

Por lo que la curva Ansi del transformador de TECNOVA queda definida de la siguiente manera.

**TABLA 4.5: Curva ANSI de Transformador de TECNOVA**

<b>TIEMPO</b>	<b>MULTIPLoS DE In</b>	<b>REFLEJADO A 69 KV</b>	<b>REFLEJADO A 13.8 KV</b>
3600	<b>1,8</b>	75,30655685	376,5327843
1800	<b>2</b>	83,67395206	418,3697603
300	<b>3</b>	125,5109281	627,5546404
60	<b>4,75</b>	198,7256361	993,6281807
30	<b>6,3</b>	263,572949	1317,864745
10	<b>11,3</b>	472,7578291	2363,789146
2	<b>25</b>	1045,924401	5229,622004

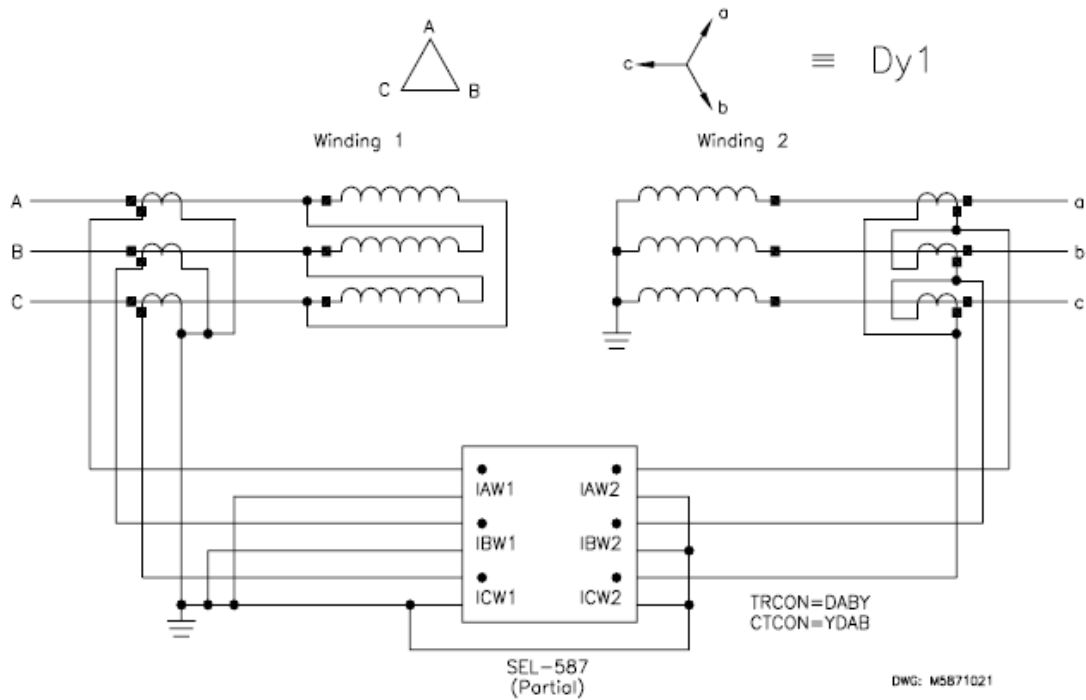
## ANEXO 4.8: Conexión del transformador (TRCON) y conexión del TC (CTCON)

El relé SEL-587 automáticamente compensa para 14 combinaciones diferentes de conexiones de enrollados del transformador de poder y conexiones de enrollados de los transformadores de corriente. Los factores internos de compensación (CON1 y CON2) se usan para compensar cualquier ángulo de desfase debido a las conexiones de los enrollados y la remoción de la corriente de secuencia cero cuando es necesario, ver en la siguiente tabla y en la figura 4.3.

**TABLA 4.6: Factores de Compensación C1 y C2**

TRCON	CTCON	CON1	CON2	C1	C2
YY	DACDAC	Y	Y	$\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$
YY	DABDAB	Y	Y	$\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$
YDAC	DACY	Y	Y	$\sqrt{3}$	1
YDAB	DABY	Y	Y	$\sqrt{3}$	1
DACDAC	YY	Y	Y	1	1
DABDAB	YY	Y	Y	1	1
DABY	YDAB	Y	Y	1	$\sqrt{3}$
DACY	YDAC	Y	Y	1	$\sqrt{3}$
YY	YY	DAB	DAB	1	1
YDAC	YY	DAC	Y	1	1
YDAB	YY	DAB	Y	1	1

TRCON	CTCON	CON1	CON2	C1	C2
DABY	YY	Y	DAB	1	1
DACY	YY	Y	DAC	1	1
OTHER	YY	Y	Y	1	1



**FIGURA 4.3: Transformador de Poder en conexión Delta – Estrella con conexiones de CTS Estrella – DELTA.**

## **ANEXO 4.9: Diagramas de control**

El diagrama de control de la subestación tiene la finalidad de llevar un control de los diversos dispositivos de protección de tal manera que garantice el perfecto funcionamiento de los mismos cuando se presente una falla que pueda ocasionar daños en los equipos.

El sistema de control de la subestación actúa sobre los siguientes elementos:

- Gabinete del relé de protección SEL-587
- Control del Breaker 69 KV ( Interruptor de potencia en gas SF6 CROMPTON GREAVES.
- Control del interruptor de protección en vacío 13.8KV (Cutler-Hammer)
- Medidor Ion 6200
- Alarmas y disparos del transformador de 5MVA
- Anunciador de alarmas

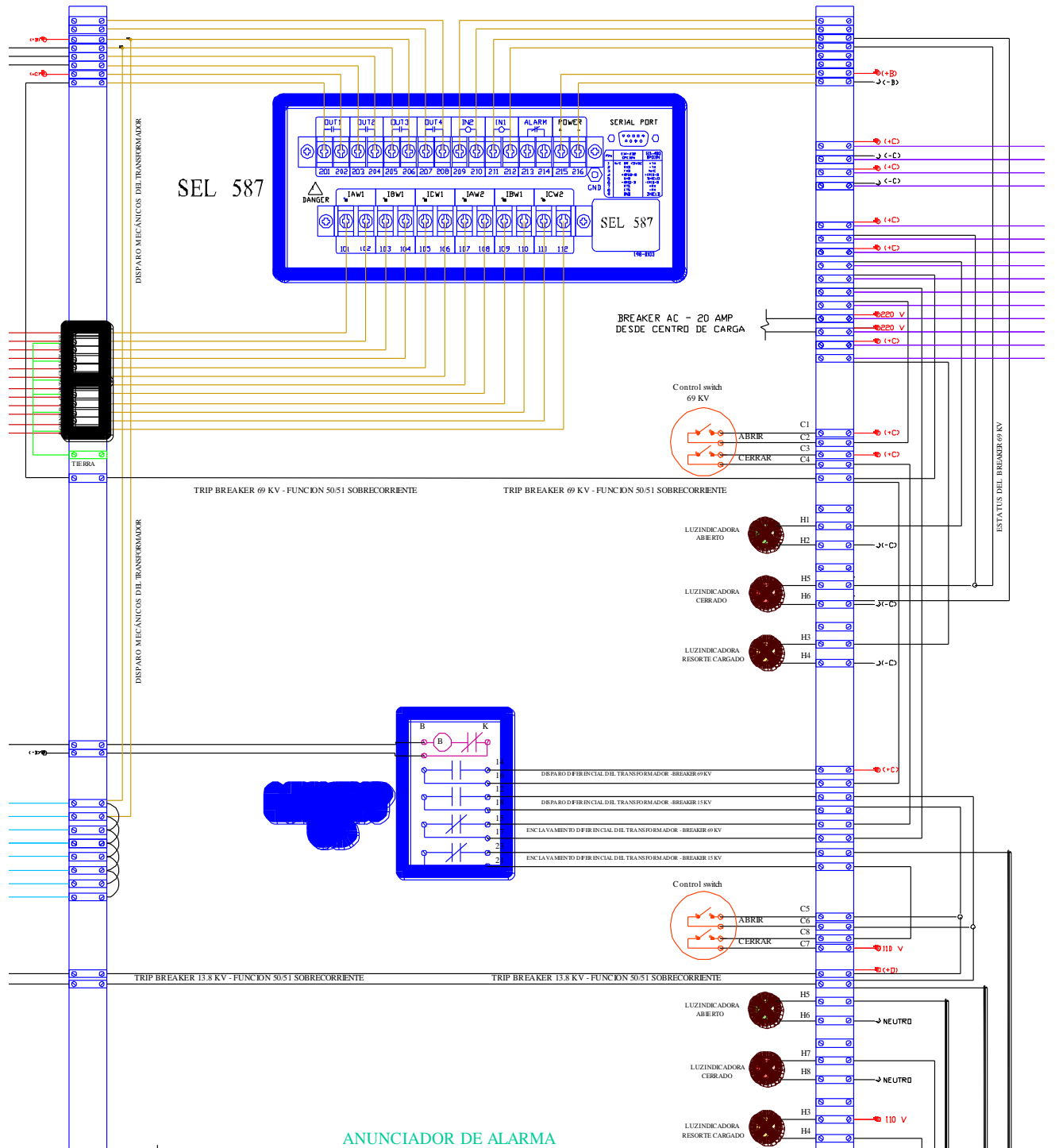
#### **ANEXO 4.10: Gabinete del relé de protección SEL-587**

En la figura 4.4 se muestra el gabinete del relé de protección con los respectivos terminales de conexión para los CTs y sus respectivos contactos de señalización y disparo.

Los contactos OUT 1 y OUT 2 del relé corresponden al disparo del Breaker de 69 KV y 13.8 KV respectivamente, en función 50/51 de sobrecorriente. El contacto OUT 3 es el disparo diferencial del relé, el cual actúa en los breakers de 69 y 13.8 KV, esto lo realiza mediante el bloqueo (LOCKOUT 86) que cumple dos funciones específicas:

- Realizar el disparo simultaneo de los breakers de 69 KV y 13.8 KV en función diferencial.
- Controlar el bloqueo de los interruptores.
- El enclavamiento no permite cerrar los interruptores cuando ha ocurrido un disparo por protección diferencial, es decir, que realiza un bloqueo del switch de control de tal manera que no se pueda restablecer hasta que el mismo sea restaurado de forma manual.

- Los terminales IN1 y IN2 son entradas programables que para este caso la entrada IN1 está habilitada para indicar en el relé el estado del breaker de 69KV, los mismos que están conectados en los terminales de la luz indicadora de cerrado correspondiente a los contactos normalmente abiertos del interruptor.
- En los terminales IAW1, IBW y ICW1 se conectan los transformadores de corriente del lado de 69KV y IAW2, IBW2 y ICW2 a los del lado de 13.8KV.
- El relé SEL-587 es alimentado por los terminales 215 y 216 a 48 VDC desde un panel de distribución con cuatro breakers DC distribuidos de la siguiente manera:
  - Breaker DC-15A, para anunciadores de alarmas.
  - Breaker DC-15A, para Relé de Protección.
  - Breaker DC-15A, para Interruptor de 69KV.
  - Breaker DC-15A, para Interruptor de 13.8KV.



ANUNCIADOR DE ALARMA  
**FIGURA 4.4: Gabinete del rele SEL-587**

## **ANEXO 4.11: Control del Breaker 69 KV (Interruptor de potencia en gas SF6 CROMPTON GREAVES.**

En la figura 4.5 se muestra el control del breaker del lado de 69 KV , los terminales J1, J2 y J11 corresponden a la alimentación del circuito de control y del motor para el cierre y apertura de contactos.

Los contactos CG-11 – CG12 y CG-31 – CG-32, son auxiliares normalmente abierto y normalmente cerrados respectivamente, que están conectados con luces de señalización que indican cierre y apertura.

El terminal K23 corresponde a los disparos de protección (Función de sobrecorriente) y va a los terminales del OUT 1 del rele SEL-587.

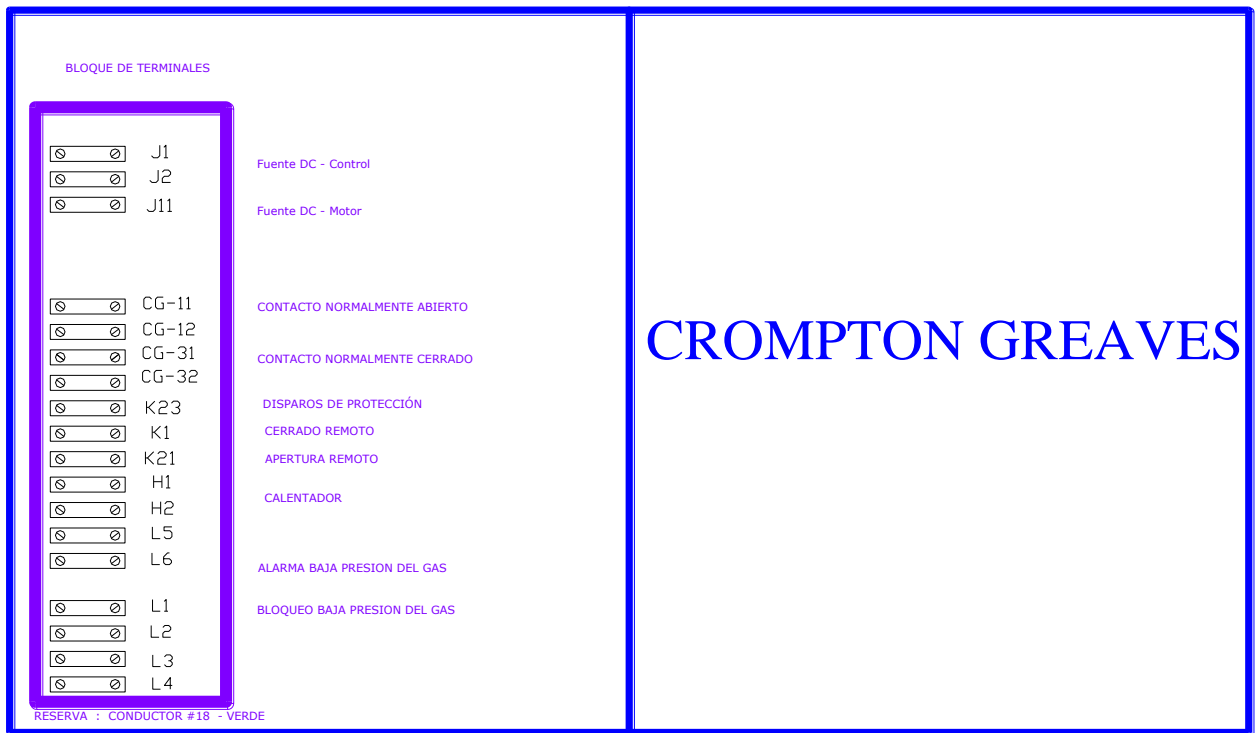
Los terminales K1 y K21 se conectan a los terminales de switch de control del breaker de 69KV, estos son para el apertura y cerrado remoto.



Los contactos L1-L2 y L3-L4 corresponden a la señal de alarma por baja presión y bloqueo del gas (SF6)

## BREAKER 69 KV

### 20 cables de Control Marquillados



**FIGURA 4.5: Control del breaker de 69 KV**

## ANEXO 4.12: Control del interruptor de protección en vacío 13.8KV (Cutler-Hammer)

En la figura 4.6 se muestra los terminales de control del breaker de 13.8KV, donde B14 y B15 corresponde a la alimentación para el motor de los contactos, y A16 es un auxiliar que indica la carga del resorte del interruptor.

Los contactos A23-A24 y A25-A26 son auxiliares de señalización normalmente cerrado y abierto respectivamente.

### BREAKER 13.8 KV



FIGURA 4.6: Gabinete del rele SEL-587

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Blackburn, J. Lewis - Protective Relaying Principles and Applications. Editorial Marcel Dekker: New York 1987.
2. Layana Chancay, José - Análisis de Falla en los Sistemas Eléctricos de Potencia. Editorial Espol: Ecuador 2010.
3. William, Stevenson Análisis de Sistemas de Potencia. Editorial McGRAW-HILL: México 2004.
4. Manual de Instrucción SEL-587-0,-1 - Schweitzer Engineering Laboratories Inc.
5. Areva - Network Protection and Automation Guide. Editorial ALSTOM GRID: Reino Unido 2011.
6. ANSI/IEEE Standard C37.110: 1996 "IEEE Guide for the Application of Current Transformers Used for Protective Relaying Purposes"
7. Carrillo Caicedo, Gilberto - Protecciones Eléctricas, notas de clases.
8. Criterios de ajustes y coordinación de los sistemas de protección del SEIN - Comité de Operación Económica de Sistema Interconectado Nacional.