

# ESTUDIOS DE COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES ELÉCTRICAS POR MÉTODOS COMPUTARIZADOS APLICADOS A LA CENTRAL TÉRMICA ENRIQUE GARCÍA

José Dennys Vásquez Lemus, Juan Eduardo Yépez Pérez, Juan Saavedra Mera\*

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 Vía Perimetral, apartado 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador

[jdvasque@espol.edu.ec](mailto:jdvasque@espol.edu.ec), [juaedyep@espol.edu.ec](mailto:juaedyep@espol.edu.ec), [jsaavedra@hidronacion.org](mailto:jsaavedra@hidronacion.org)

\*Director de Tesis, Ingeniero en electricidad especialización Potencia

## Resumen

Este proyecto está enfocado al estudio de los Equipos de Protección que se encuentran presente en el sistema de potencia de la Central Térmica Enrique García. Para ello, fue necesario realizar estudios de Flujo de Carga y Cortocircuito; con estos análisis determinaremos factores importantes a considerar al momento de realizar los ajustes de los relés de protecciones, ya que se debe conocer contra que anomalía, falla o disturbio se está protegiendo el equipo de Generación y Transformación de nuestra Central.

El estudio de coordinación de las protecciones se la realizó tomando en cuenta el caso de máxima carga, para esto debemos conocer el funcionamiento nuestro sistema de potencia, y valores de corriente de cortocircuito o corrientes de fallas máximas (fallas trifásicas) y mínimas (fallas de línea a tierra). Este estudio se realizará con ayuda de un software para sistemas de potencia "POWER WORLD", luego se realizará un flujo de carga de nuestro sistema y análisis de fallas; una vez obtenidos los resultados, realizaremos la coordinación de las curvas en el software para coordinación de protecciones eléctricas "CYMPCC" y luego la coordinación será comprobada en "MICROSOFT EXCEL", esto ayudará a obtener los ajustes en los equipos de protección. Los resultados se mostrarán de forma gráfica y cuantitativa.

**Palabras clave:** Descripción de instalaciones, relés digitales, flujo de carga, análisis de cortocircuitos, ajustes de protecciones y coordinación de protecciones.

## Abstract

**Keywords:** Descripción de instalaciones, flujo de carga, análisis de cortocircuitos, coordinación de protecciones,

## Introducción.

En la operación de un sistema de potencia se debe procurar que toda instalación de suministro de energía eléctrica provea la calidad de suministro en condiciones óptimas de seguridad y continuidad.

Un sistema de protecciones bien concebido debe estar ajustado de manera de asegurar un comportamiento adecuado, de alta selectividad, rápido y confiable ante perturbaciones y procurar, dentro de lo posible, otorgar los respaldos necesarios y suficientes a otras instalaciones del sistema. Por adecuado se entiende un esquema de alta sensibilidad que permita detectar cualquier tipo de fallas que ocurran en la zona protegida, de alta selectividad que permita discriminar cual es el equipo o componente fallado, rápido para proceder en forma automática al retiro del equipo fallado y confiable, es decir, que sólo opere cuando efectivamente ha ocurrido una falla.

En el caso del presente estudio de los ajustes de las protecciones se verificará la correcta coordinación de las protecciones que opera a la central Enrique García.

Por ende es necesario realizar un estudio de flujo de carga, estudio de fallas y coordinación de protecciones donde se verificarán las características y ajustes necesarios de los elementos de protección.

## 1. CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES.

La Central Térmica Dr. Enrique García se encuentra ubicada en un área de 74129 m<sup>2</sup> en el sector de Pascuales en la ciudad de Guayaquil – provincia del Guayas, Km. 16½ vía a Daule, en donde tiene las instalaciones adecuadas para un correcto funcionamiento de la turbina, esta fue adquirida por INECEL (actualmente CELEC EP. Unidad de Negocios ELECTROGUAYAS) en el año 1997.

El sistema de la central térmica Enrique García posee una turbina Westinghouse W501D5 y un generador Siemens de 155MVA, 13800V, 3Ø, 60 Hz, 0.90 fp y 3600 RPM.

La potencia instalada de generación es de 100 MW, siendo 95MW la generación máxima la cual se distribuye entre consumo interno de la planta y aportación al SNI.

Entre los transformadores los más importantes son:

- ✓ Principal de 85/114/142MVA 13.8/69 KV, el cual sirve para enviar la energía eléctrica a Transelectric.

- ✓ Auxiliar 1 de 7500KVA 13.8/4.16 KV, el cual sirve para alimentación a las barras del MCC de 4160V y transformadores auxiliares.
- ✓ Auxiliar 2 de 750KVA 4160/480V, el cual sirve para alimentación a las barras del MCC de 480V.
- ✓ BOP de 500KVA 4160/480V, el cual sirve para alimentación a las barras del MCC de 480V y servicios de planta, iluminación y área administrativa.

Entre los equipos de más demanda de energía que entran en el proceso de arranque de la turbina:

- ✓ Un motor de 1800HP, 4,16 KV; sirve de para el arranque de la turbina.
- ✓ Un motor de 300HP, 4.16KV; sirve como bomba de combustible.

Además el sistema consta de cargas las cuales mediante transformadores auxiliares llevan a un nivel de voltaje de 4160 y 480V, que son para los equipos complementarios del sistema como bombas lubricación, bomba centrifugas, bomba divisora de flujo de combustible, etc., y para las diferentes áreas administrativas, las cuales se las representan como una sola carga.

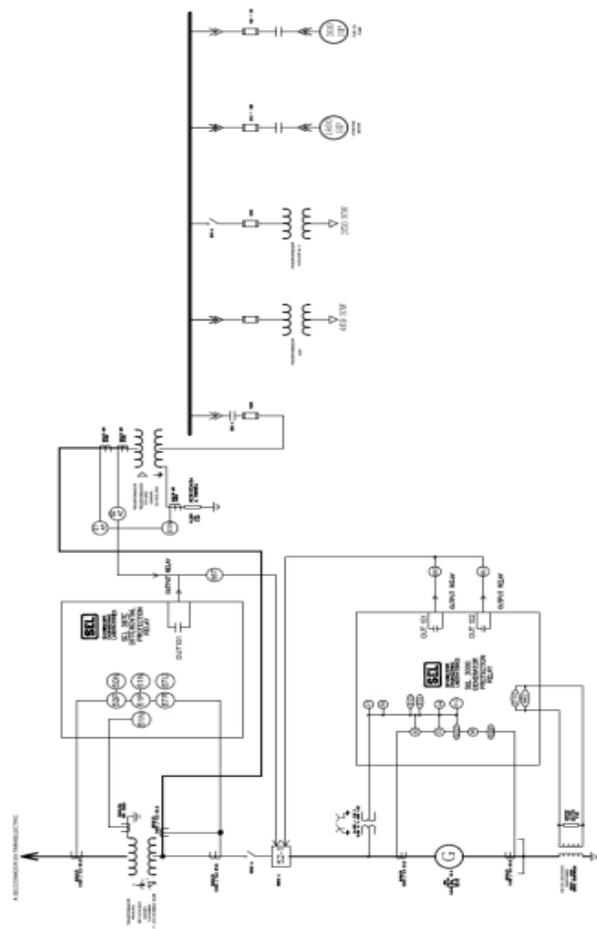


Figura 1: Diagrama unifilar Central Térmica Enrique García.



## 2.4 Resultados del estudio de flujo de carga.

Los resultados de flujo de carga serán presentados principalmente 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:

- Voltaje en barras.
- Carga sobre todos los transformadores, verificar que la carga este dentro de la capacidad de transmisión para condiciones normales y contingencias operativas.
- Ajustes de TAPS de Transformadores.

### 2.4.1 Caso base (Máxima carga).

#### 2.4.1.1 Voltajes en las barras del sistema.

Tabla III: Resultados de voltajes en las barras.

Barra No.	Nombre	Voltaje Nominal [KV]	Voltaje [p.u.]	Voltaje [KV]	Fase [Grados]
14	Pascuales 69 KV	69.0	0.9859	68.03	-0.40
15	Pascuales 13.8KV	13.8	1.0000	13.80	5.33
43	AUX 1	4.16	1.0133	4.220	3.98
44	BOP	0.48	0.9997	0.480	2.43
45	AUX 2	0.48	0.9951	0.480	1,92

#### 2.4.1.2 Cargabilidad de transformadores.

Tabla IV: Resultados de carga de los transformadores.

Desde Barra	Hacia Barra	Equipo	Cargabilidad
Pascuales 69KV	G Pascuales 13.8KV	T. Principal	69%
G Pascuales 13.8KV	4.16KV Aux 1	T. Auxiliar 1	36%
4.16 kV Aux1	480V Aux2	T. Auxiliar 2	71%
4.16 kV Aux 1	480V BOP	T. BOP	79%

## 3. CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA.

### 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.

La Central Térmica Enrique García requiere realizar estudios de Corto Circuito para analizar las situaciones críticas señaladas, y obtener la información básica para la coordinación de las protecciones. Los estudios se realizaran con 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.
- Proveer la información para el 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 la Central Térmica Enrique García se caracteriza por ser un sistema típicamente aterrizado el estudio de corto circuito considera los siguientes tipos de falla:

- Falla trifásica.
- Falla de línea a tierra.

La falla trifásica 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 se verificara que la corriente de falla a tierra no exceda la corriente trifásica.

### 3.3 Datos del sistema.

La información básica es aplicable a todos los casos del Sistema, su aplicación depende del tipo de corriente de falla a determinar.

#### 3.3.1 Impedancia del generador.

Para verificar la capacidad momentánea de los interruptores se usa la impedancia transitoria  $X'$ .

#### 3.3.2 Impedancias equivalentes en el punto de entrega del SIN.

El SNI nos ha entregado los MVA de corto circuito y las impedancias de Thevenin en la barra de Interconexión del sistema de generación con el SNI (Transelectric). La información ha sido trasladada a la base de 100 MVA y 138 KV y se indica en la siguiente tabla:

##### 3.3.2.1 MVA de Corto circuito.

Tabla V: Corrientes y MVA de cortocircuito.

Tipo de Falla	Corriente de Falla p.u.	Angulo	Corriente de Falla Amperios	MVA de Corto Circuito
Trifásica	44.153	-85.06	11083.3	2649.16374
Línea-Tierra	50.658	-86.02	12455.7	1013.15481

##### 3.3.2.2 Impedancias equivalentes

Tabla VI: Impedancias equivalentes.

Tipo de impedancia	Magnitud en p.u.	Angulo	R en Ohm	X en Ohm
Positiva	0.042	90	0	7.9984
Negativa	0.042	90	0	7.9984
Cero	0.020	90	0	3.8088

### 3.4 Resultados de los estudios de corto circuito.

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

#### 3.4.1 Caso base.

Corrientes de falla en cada barra.

Tabla VII: Corrientes de falla trifásica en cada barra.

Barra No.	Nombre	Falla Trifásica		
		Corriente [p.u.]	Corriente [A]	Angulo [Grados]
14	Pascuales 69KV	19.370	16207.50	-84.74
15	G Pascuales 13.8KV	10.569	44218.00	-113.22
43	BARRA 4.16KV AUX 1	0.912	12654.10	-144.49
44	BARRA 480V BOP	0.114	13702.40	-145.71
45	BARRA 480V AUX 2	0.116	13919.60	-175.64

Tabla VIII: Corrientes de falla de línea a tierra en cada barra.

Barra No.	Nombre	Falla Línea a Tierra		
		Corriente [p.u.]	Corriente [A]	Angulo [Grados]
14	Pascuales 69KV	21.510	17997.90	-86.15
15	G Pascuales 13.8KV	0.001	5.312	-24.75
43	BARRA 4.16KV AUX 1	0.937	13011.10	-145.01
44	BARRA 480V BOP	0.000	0.036	-147.64
45	BARRA 480V AUX 2	0.120	144448.4	-176.41

### 3.5 Conclusiones y recomendaciones.

El presente estudio de corto circuito preparado para el sistema eléctrico de la Central Enrique García nos permite cumplir con los siguientes objetivos:

- ✓ Determinar el efecto de las corrientes de falla en los componentes del sistema como lo son los transformadores y el generador durante el tiempo que esté presente 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.
- Falla de línea a tierra.

Las fallas trifásica y línea a tierra fueron aplicadas a cada barra del sistema estudiado, cuyos resultados son mostrados en las tablas VII y VIII los cuales permiten establecer lo siguiente:

- ✓ La corriente de falla de línea a tierra en la barra G Pascuales 13.8KV fue limitada por medio de la instalación de una resistencia aterrizada, elevada mediante un transformador en el generador.
- ✓ Corrientes de falla de línea a tierra aguas abajo del transformador BOP en el lado de 480 [V] no existen ya que no hay aporte a la corriente en secuencia cero debido a la conexión del transformador (Delta-Delta).
- ✓ De acuerdo a la Tabla VII y VIII, los valores de las corrientes de fallas son elevadas puesto que se analizó el caso de máxima generación.
- ✓ Para el caso de las barra de generación en condiciones de falla, se observan depresiones de voltaje considerables.
- ✓ Cuando existe circunstancias de fallas en las barras de carga, solo se muestra una depresión de voltaje en la barra fallada, mientras que en las otras barras del sistema permanecen dentro de los límites de regulación de voltaje.

## 4. CAPÍTULO 4: COORDINACIÓN DE PROTECCIONES.

### 4.1 Introducción.

Los estudios de flujo de carga y corto circuito de la Central Enrique García son la base para el ajuste y coordinación de las protecciones del sistema. Los estudios se realizarán 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 del sistema de la Central Enrique García propiamente.
- ✓ La aplicación del estudio permitirá el despeje oportuno y selectivo de las fallas del sistema.

### 4.2 Esquema de protecciones.

#### 4.2.1 Esquema de protección de generadores.

La protección del generador es realizada mediante un relé SEL 300G.

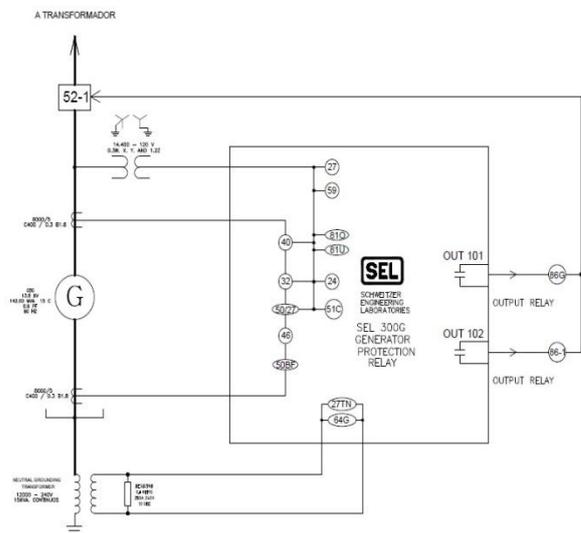


Figura 3: Esquema de protección del generador.

#### 4.2.2 Esquema de protección del transformador.

Para la protección del transformador principal de la Central Enrique García se usó un relé SEL 387E.

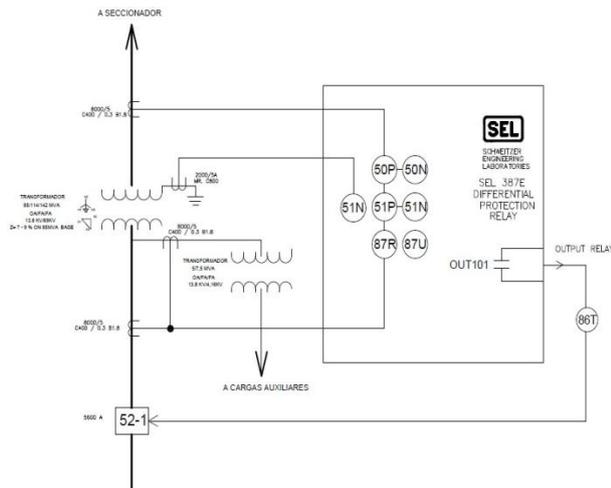


Figura 4: Esquema de protección del transformador principal.

### 4.3 Ajuste 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 la sección anterior.

#### 4.3.1 Protección del generador.

En esta sección se detallarán los cálculos y ajustes para la protección del generador de la Central Enrique García:

- ✓ 27/59 Elemento de protección de Bajo/Sobre voltaje.
- ✓ 32 Elemento de potencia inversa y baja Potencia hacia delante.
- ✓ 40 Elemento de pérdida de campo.
- ✓ 46 Elemento de sobrecorriente de Secuencia negativa.
- ✓ 51 Elemento de sobrecorriente inversa.
- ✓ 64 Elemento de protección a tierra al 100% del estator.
- ✓ 81 Elemento de protección de frecuencia.
- ✓ 87G Elemento diferencial.

#### 4.3.2 Protección del transformador.

Para realizar la debida protección del transformador se utiliza un Relé SEL 387E.

Las funciones a utilizar para la protección son las siguientes:

- ✓ 50/51 Elemento de sobrecorriente directa e inversa.
- ✓ 87 Elemento diferencial.

### 4.4 Coordinación de protecciones.

Para la coordinación de las protecciones se han adoptado los siguientes criterios, utilizando unidades de sobrecorriente que cumplen las siguientes características de protecciones eléctricas:

- ✓ Selectividad: cada relé o elemento de protección deberá operar en su zona protegida.
- ✓ Respaldo: los relés dan protección primaria en la zona protegida y protección de respaldo a la zona adyacente.
- ✓ Tiempo de operación: el tiempo de operación se ha ajustado para cumplir los criterios de selectividad y respaldo.
- ✓ Simplicidad: la protección cumple este criterio, evitando la redundancia de la protección en las zonas protegidas.

Considerando el estándar de IEEE para la coordinación de sobrecorriente de relés digitales, se ha considerado un intervalo de coordinación entre 0.2 a 0.25 segundos en el punto de coordinación correspondiente a la contribución a la corriente de falla en la ubicación del relé.

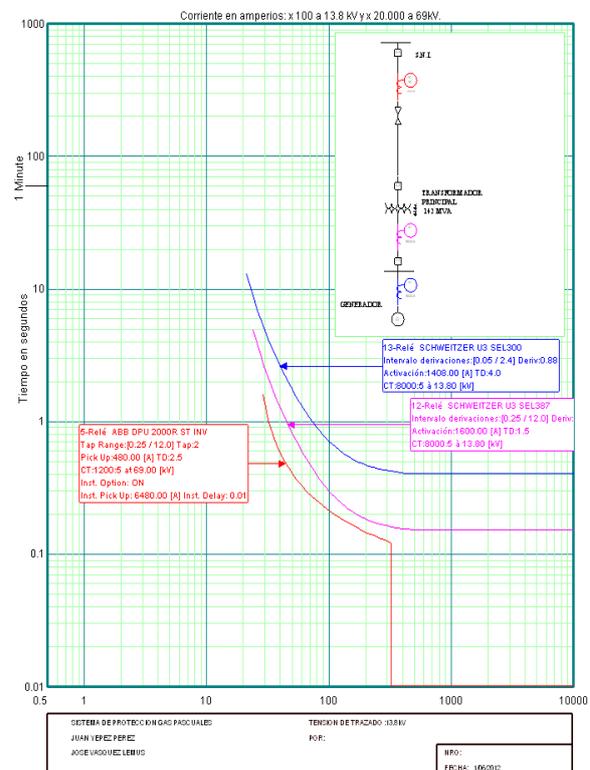


Figura 5: Coordinación de las protecciones de la central con el SNI.

#### 4.5 Resumen de ajustes.

El ajuste de los relés mencionados en la coordinación se resume en las siguientes tablas.

##### 4.5.1 Ajustes de las protecciones del generador.

Tabla IX: Ajustes de relé SEL 300G del generador.

27	27V1P Pickup de secuencia positiva de bajo voltaje (OFF, 0.1 a 200.0 V)	OFF
	27PP1 Pickup nivel 1 de fase a fase de bajo voltaje (OFF, 0.1 a 200.0 V)	109.3
	27PP2 Pickup nivel 2 de fase a fase de bajo voltaje (OFF, 0.1 a 200.0 V)	92.0
32	32P1P Umbral de potencia de nivel 1 ( $\pm 0.0015$ a $\pm 3.0000$ pu)	-0.0300
	32P1D Retardo de tiempo potencia de nivel 1 (0.01 a 400.00 seg)	2.00
	32P2P Umbral de potencia nivel 2 ( $\pm 0.0015$ a $\pm 3.0000$ pu)	-0.0800
	32P2D Retardo de tiempo potencia de nivel 2 (0.01 a 400.00 seg)	9.00
	32PTC Control de torque del elemento (SELogic control equation)	!60LOP
40	40Z1P Diámetro de los Mho zona 1 (OFF, 1.0 a 100.0 $\Omega$ , 5A)	20.3
	40XD1 Desplazamiento de la reactancia zona 1 (-50.0 a 0.0 $\Omega$ , 5 A)	-1.9
	40Z1D Operación de retardo de tiempo zona 1 (0.0 a 400.0 seg)	0.10
	40Z2P Diámetro de los Mho zona 2 (OFF, 1.0 a 100.0 $\Omega$ , 5A)	29.1
	40XD2 Desplazamiento de la reactancia zona 2 (-50.0 a 50.0 $\Omega$ , 5 A)	-1.9
	40Z2D Operación de retardo de tiempo zona 2 (0.0 a 400.0 seg)	0.60
	40ZTC Control de torque del elemento (SELogic control equation)	!60LOP
46	46Q1P Operación de sobrecorriente de secuencia negativa nivel 1 (OFF, 2 a 100 %)	4
	46Q1D Retardo de tiempo de sobrecorriente de secuencia negativa del nivel 1 (0.0 2 a 999.90 seg)	5.00
	46Q2P Operación de sobrecorriente de secuencia negativa del nivel 2 (OFF, 2 a 100 %)	8
	46Q2K Retardo de tiempo de sobrecorriente de secuencia negativa del nivel 2 (1 a 100 seg)	10
	46QTC Control de Torque del Elemento (SELogic control equation)	1
50	50P1P Pickup de sobrecorriente de fase nivel 1 (OFF, 0.25, 100.00 A)	12

	50P1D Retardo de tiempo de sobrecorriente de fase nivel 1 (OFF, 0.00 a 400.00 seg)	0.10
51	51CP Voltaje – Tiempo controlado – O/C Pickup (OFF, 0.50-16.00 A {5 A model})	1.88
	51CC Curva Voltaje – Tiempo controlado – O/C (U1-U5, C1-C5)	U3
	51CTD Time dial Voltaje – Tiempo controlado – O/C (Curvas U, 0.50 a 15.00) (curvas C, 0.05 a 1.00)	4.00
	51CRS Voltaje – Tiempo controlado – O/C EM Reset (Y, N)	N
	51CTC Control de torque del elemento (SELogic control equation)	27PP2*16 0LOP
59	59QP Pickup de secuencia negativa de sobrevoltaje (OFF, 0.0 a 200.0 V)	OFF
	59V1P Pickup de secuencia positiva de sobrevoltaje (OFF, 0.0 a 200.0 V)	OFF
	59PP1 Pickup nivel 1 fase a fase de sobrevoltaje (OFF, 0.0 a 200.0 V)	126.5
	59PP2 Pickup nivel 2 fase a fase de sobre voltaje (OFF, 0.0 a 200.0 V)	138.0
64	64G1P Operación elementos sobre/baja tensión del neutro zona 1 (OFF, 0.1 a 150.0 V)	15.0
	64G1D Retardo de tiempo de la Zona 1 (0.00 a 400.0 seg)	1.00
	64G2P Tensión diferencial de la Zona 2 (OFF, 0.1 a 20.0 V)	2.5
	64G2D Retardo de tiempo de la Zona 2 (0.00 a 400.00 seg)	0.08
	64GTC Control de torque del Elemento (SELogic Equation)	1
81	27B81 Bloqueo a bajas tensiones de Fase (20.00 a 150.00 V)	20.00
	81D1P Operación del nivel 1 (OFF, 20.00 a 70.00 Hz)	58.50
	81D1D Retardo de tiempo nivel 1(0.03 a 400.0 seg)	3.00
	81D2P Operación del nivel 2 (OFF, 20.00 a 70.00 Hz)	57.90
	81D2D Retardo de tiempo nivel 2 (0.03 a 400.0 seg)	1.00
	81D3P Operación del nivel 3 (OFF, 20.00 a 70.00 Hz)	57.50
	81D3D Retardo de tiempo nivel 3 (0.03 a 400.0 seg)	0.10
	81D4P Operación del nivel 4 (OFF, 20.00 a 70.00 Hz)	60.50
	81D4D Retardo de tiempo nivel 4 (0.03 a 400.0 seg)	5.00
	81D5P Operación del nivel 5 (OFF, 20.00 a 70.00 Hz)	63.00
	81D5D Retardo de tiempo nivel 5 (0.03 a 400.0 seg)	5.00
	81D6P Operación del nivel 6 (OFF,	63.60

	20.00 a 70.00 Hz)	
	<b>81D6D</b> Retardo de tiempo nivel 6 (0.03 a 400.0 seg)	0.50
87	<b>U87P</b> Múltiplo de TAP de la operación del elemento sin restricción (1.0 a 20.0)	10.0
	<b>O87P</b> Múltiplo de TAP de la operación del elemento restringido (0.04 a 1.00)	0.30
	<b>SLP1</b> Porcentaje de restricción de la Pendiente 1(5 a 100%)	10

#### 4.5.2 Ajustes de las protecciones del transformador.

Tabla X: Ajustes del relé SEL 387E del transformador.

50	<b>50P31P</b> Ajuste del pickup del elemento de tiempo definido de fase (OFF, 0.25-100 A, seg)	10.00
	<b>50Pn1d= 50P31d</b> Ajuste del retardo de tiempo del elemento de tiempo definido (0.00-16000.00 ciclos)	5.00
	<b>50Pn1TC= 50P31TC</b> Torque de control (SELogic Equation)	1
51	<b>51P3P</b> Ajuste del pickup del elemento de tiempo inverso de fase (OFF, 0.50-16.00 A, seg)	2.00
	<b>51P3C</b> Ajuste de la curva del elemento de tiempo inverso (Selección U1-U5, C1-C5)	U3
	<b>51P3TD</b> Ajuste del time-dial del elemento de tiempo inverso (0.50-15.00)	2.5
	<b>51P3RS</b> Ajuste del Reset del elemento de tiempo inverso (Seleccionar: Y, N)	Y
	<b>51P3TC</b> Torque de control (SELogic Equation)	1
87	<b>O87P</b> Nivel mínimo requerido de corriente para operación (0.10-1.00 TAP)	0.30
	<b>SLP1</b> Porcentaje primera pendiente (5-100 %)	25
	<b>SLP2</b> Porcentaje segunda pendiente (OFF, 25-100 %)	50
	<b>IRS1</b> Límite de la restricción de la pendiente 1 (1.0 – 20.0 TAP)	0.30
	<b>U87P</b> Nivel máximo de la corriente de operación PU (1-20TAP)	10.0
	<b>PTC2</b> Porcentaje de bloqueo del 2do armónico (OFF, 5-100%)	15.0
	<b>PTC5</b> Porcentaje de bloqueo del 5to armónico (OFF, 5-100%)	35

#### 4.6 Conclusiones.

Para el estudio de coordinación se consideró como base la condición de máxima carga.

- ✓ Los parámetros de los setting de los relés SEL-300G y SEL-387E presentados en este estudio de coordinación son de acuerdo a los setting de los relés de la Central Térmica Dr. Enrique García y estos parámetros presentados para cada tipo de protección de este estudio fueron tratados de una manera cuidadosa debido a que estos tipos de relés son numéricos y conllevan para su operación funciones lógicas.

- ✓ Existen ciertos elementos de protección como el elemento de pérdida de campo; en la zona 2, la protección fue calculada de acuerdo al manual del fabricante del relé pero en la zona 1 esta fue calculada con el 70% de la zona 2.

- ✓ Existen parámetros de ciertos elementos de protección en los relés que fueron ajustados de acuerdo a pruebas y no estrictamente al manual del relé, esto es debido a que se realizaron ciertos ajuste en algunas protecciones haciendo coincidir los parámetros actuales con los antiguos, los relés anteriores eran relés electromecánicos de marca BASLER-ELECTRIC los cuales fueron remplazados por los SEL-300G y SEL-387E.

#### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- ✓ Para el estudio de Flujo de Carga del sistema eléctrico de la Central a Gas Enrique García, el nivel de voltaje de operación en la barra de generación G PASCUALES 13.8KV tiene presente un nivel de 1.00 [p.u.], el cual ha sido regulado mediante la generación de reactivos. Esta regulación asegura que dichos valores se encuentren dentro de los rangos establecidos. Las barras de carga "BARRA 4.16KV AUX 1, BARRA 480V AUX 2 y la BARRA 480V BOP, poseen un voltaje de operación de 1.013 [p.u.], 0.995 [p.u.] y 0.999 [p.u.] respectivamente. Para el caso de la BARRA 4.16KV AUX 1 fue posible su regulación por medio del TAP del transformador auxiliar 1 en -2.5% "TAP 4" ubicado en el lado de alto voltaje.

- ✓ Para estudio de Corto Circuito del sistema eléctrico de la Central Enrique García se consideró los tipos de falla trifásica y de línea a tierra. La corriente de falla de línea a tierra

en la barra G Pascuales 13.8KV fue limitada por medio de la instalación de una resistencia aterrizada, elevada mediante un transformador en el neutro del generador, en el caso de las barra de generación en condiciones de falla, se observan depresiones de voltaje considerables, cuando existe circunstancias de fallas en las barras de carga, solo se muestra una depresión de voltaje en la barra fallada, mientras que en las otras barras del sistema permanecen dentro de los límites de regulación de voltaje.

- ✓ La curva de coordinación con el SNI presentada en la figura 5 está a un nivel de tensión de 69 kV, para una mejor comprensión de la gráfica, esta curva hay que referirla a un nivel de tensión de 13,8 kV.
- ✓ Del estudio realizado está basado en un estudio exclusivo para central de Generación Térmica Dr. Enrique García, no está de más mencionar la siguiente recomendación, el sistema de protecciones deberá proveer un despeje rápido para el caso de falla más severo que se puede producir en la central, es decir una falla trifásica en la barra de la subestación, ya que las depresiones de voltaje son presentadas en todo el sistema eléctrico de la central.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEEE, IEEE Std 141 Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants, 1993.
- [2] IEEE, IEEE Std C37.010 Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis, 1979.
- [3] IEEE, IEEE Std C37.5 Guide for Calculation of Fault Currents for Application of AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Total Current Basis, 1979.
- [4] IEEE, IEEE Std 242 Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems, 1996.
- [5] IEEE/ANSI, ANSI/IEEE C37.91 Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers, 1985.
- [6] IEEE, Tutorial IEEE de Protección de Generadores Síncronos.
- [7] Mason, C. Russel, The Art & Science of Protective Relaying.
- [8] Blackburn, J. Lewis, Protective Relaying Principles and Applications, 2006.
- [9] SEL-300G, Multifunction Generator Relay, Instruction Manual.
- [10] SEL-387E, Current Differential and Voltage Protection Relay, Instruction Manual.