

# Coordinación de las Protecciones de la Subestación de Distribución del Sistema Guayas-Los Ríos

Carlos Cristóbal Carreño Muñoz <sup>(1)</sup>

Edwin Fernando Alegría Macías <sup>(2)</sup>

Juan Saavedra Mera <sup>(3)</sup>

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación,  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

[ccarren@espol.edu.ec](mailto:ccarren@espol.edu.ec) <sup>(1)</sup>

[ealegria@espol.edu.ec](mailto:ealegria@espol.edu.ec) <sup>(2)</sup>

Escuela Superior Politécnica del Litoral  
Ingeniero Eléctrico Especialización Potencia, Profesor de Materia de Graduación <sup>(3)</sup>  
[juan.saavedra@celec.gob.ec](mailto:juan.saavedra@celec.gob.ec) <sup>(3)</sup>

## Resumen

*El presente trabajo consiste en realizar las coordinaciones de las protecciones de la Subestación de Distribución del sistema Guayas-Los Ríos por métodos computarizados para realizar los ajustes de una manera rápida y confiable. La Subestación de Distribución se encuentra ubicada a las afuera de salitre en el sector Dos postes.*

*Partimos de la Descripción de las instalaciones tanto en el patio de 69KV como el de 13,8KV para conocer los elementos y equipos instalados actualmente, posteriormente se realiza un análisis exhaustivo de flujo de carga y estudio de cortocircuito para casos de mínima y máxima carga, proporcionándonos información en la caso de flujo de carga como niveles de voltajes en las barras, consumos de demandas y capacidades de los equipos, y en el caso del estudio de cortocircuito como, corrientes de fallas a las que puede estar expuesto el sistema.*

*Y por último se realiza la coordinación de las protecciones de la Subestación de Distribución en base al análisis exhaustivo mencionado anteriormente.*

**Palabras Claves:** *Flujo de Carga, Estudio de Cortocircuito, Coordinación de las Protecciones*

## Abstract

*This work consists of making the coordination of the protections of the distribution substation Guayas-Los Ríos system for computerized methods to make adjustments quickly and reliably. Distribution Substation is located at the outskirts of nitrate in the industry two posts.*

*We begin with the description of the installations in the yard of 13,8 KV 69KV like to know the elements and equipment currently installed, then a thorough analysis of load flow and short circuit study for cases of minimum and maximum charging, providing us with information on the case load flow and voltage levels in the bars, consumption demands and capabilities of the equipment, and in the case of short study as fault currents which may be exposed system.*

*And finally the coordination of protective Distribution Substation based on thorough analysis above is performed.*

**Keywords:** *Load flow, short circuit study, protection coordination*

## 1. Introducción

Con la finalidad de garantizar la continuidad y confiabilidad del sistema eléctrico de distribución, se realiza este trabajo debido a que la energía eléctrica se ha vuelto un recurso indispensable para la vida cotidiana de los seres humanos, ya que una interrupción debido a fallas o falsas operaciones de los equipos debido a su mala coordinación de los mismos produce molestias en los abonados y pérdidas económicas para la empresa eléctrica local.

Tomando en cuenta las normas IEE, ANSI e IEC actuales en el sistema eléctrico se procede a realizar los ajustes y coordinación de las protecciones de la subestación de distribución Juan Bautista Aguirre, por medio de métodos computarizados tales como CYMTCC 4.5 y CYMDIS.

En el capítulo 2 (Estudio de flujo de carga), se determinarán las condiciones operacionales del sistema y cada uno de sus parámetros en los componentes del sistema que sean de nuestra utilidad, por ejemplo corrientes y voltajes en las barras.

El capítulo 3 (Estudio de cortocircuito) se determinarán las corrientes de fallas en las barras de la subestación y los efectos que provocan en la operación normal de los componentes del sistema.

En el capítulo 4 se detallarán los esquemas de protección de la subestación JUAN BAUTISTA AGUIRRE actuales y propuestos por nosotros.

En el Capítulo 5 con los resultados obtenidos en los capítulos previos se coordinará finalmente las protecciones de la subestación JUAN BAUTISTA AGUIRRE con la ayuda del software CYMTCC, análisis que obtendrá como una alternativa más fiable y segura.

## 2. Descripción de las Instalaciones

La Subestación de la unidad de negocios CNEL GUAYAS LOS RÍOS “Juan Bautista Aguirre” se encuentra ubicada en la región costa, provincia del Guayas, Cantón Daule, Dispone de un área total de 625 metros cuadrados.

Se encuentra ubicada junto a la carretera que va entre la parroquia Juan Bautista Aguirre y Salitre.



**Figura 1.** Ubicación de la S/E Juan Bautista Aguirre (fuente: Google Maps).

A nivel de 69KV la Subestación de distribución es alimentada por la Subestación de distribución Dos Cerritos.

La Subestación Juan Bautista Aguirre tiene una configuración de barra simple y consta de 3 alimentadoras principales en configuración radial, tiene un transformador de potencia de 10MVA en OA y 12,5 MVA.



**Figura 2.** Transformador de Potencia Instalado

Para realizar la desconexión de la Subestación o interrumpir las corrientes de fallas, dispone de un interruptor trifásico de tanque vivo con las siguientes características.

**Tabla 1.** Características Técnicas- Interruptor a Gas

INTERRUPTOR EN GAS SF6 (GCB)							
Marca	Tipo	serie	Bil (KV)	I cont(A)	KV Max	I intermax (KA)	Año
Siemens	-	-	350	1200	72,5	20	2002



**Figura 3.** Interruptor SF6.

A nivel de 13,8KV la subestación cuenta con una cabina metálica en donde se encuentran alojados las protecciones e interruptores de las alimentadoras principales, A continuación se muestra las características de los relés instalados e interruptores.

**Tabla 2.** Protecciones de las alimentadoras.

Relés de las alimentadoras			
Alimentadora	Tipo	Marca	Funciones
Juan Bautista Aguirre	Electromecánico	Mitsubishi	50/51
Salitre	Electromecánico	Mitsubishi	50N/51N
Vernaza	Electromecánico	Mitsubishi	

**Tabla 3.** Datos del Interruptor en vacío.

Interruptores de las Alimentadoras			
Alimentadora	Juan Bautista A	Vernaza	Salitre
Marca	Mitsubishi		
Medio Aislante	Vacio		
Kv Max	15		
Bil KV	110		
I cont(A)	600		
I inst Max KA	18		

Y además la Subestación se encuentra protegida contra sobretensión tanto en la entrada y salida de las líneas por pararrayos tipo metal oxido.

### 3. Estudio de Flujo de Carga

El análisis de flujo de carga tiene como objetivo principal el comportamiento en estado estable del sistema de distribución bajo diversas condiciones de operación.

En dicho flujo de carga se obtiene un análisis base para el planeamiento diseño y operación, de tal forma que se puede determinar la potencia que fluye a través de los transformadores, tensión en las barras y verificar la existencia de sobrecarga en el sistema.

Se realizó el estudio de flujo de carga con la herramienta computacional CYME V.5.04 ANALISIS BÁSICO DE CYMDIST.

#### 3.1. Criterios aplicados en el Estudio

##### 3.1.1. Flexibilidad Operacional

El sistema podrá funcionar mediante un suministro de energía de la línea de Subtransmisión Daule Nueva- J.B. Aguirre que viene desde la subestación de transmisión Dos Cerritos ubicada al norte de la ciudad de Guayaquil sin ninguna restricción.

##### 3.1.2. Niveles de Confiabilidad

El sistema debe de proveer la continuidad de servicio y la alimentación a la zona urbana que se alimentan en nivel de voltaje de 13,8[KV] en forma prioritaria ante la existencia de falla de un elemento dentro del sistema.

Debido a que la subestación Juan Bautista Aguirre no cuenta con doble alimentación la confiabilidad del sistema sería muy baja, y no se cumpliría con lo expuesto anteriormente.

##### 3.1.3. Niveles de Sobrecarga

No se aceptan sobrecarga en los Elementos de Distribución 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 (capacidad con enfriamiento por aceite y aire natural).

##### 3.1.4. Regulación de Voltaje

Los voltajes a nivel de barras del Sistema no deben exceder del 2,5% del valor de la tensión nominal y tampoco pueden estar por debajo de un 2,5%, ante cualquier contingencia operativa.

### 3.2. Datos del Sistema

#### 3.2.1. Datos del Transformador de Potencia

Tabla 4. Características del Transformador Trifásico

PARAMETROS DEL TRANSFORMADOR TRIFASICO.		
Subestación	Juan Bautista Aguirre	
Marca	Pauwels	
Potencias		
Potencia OA	10/12,5	MVA
Potencia FOA		
Voltaje Nominal		
Alta	69	kV
Baja	13,8	kV
Grupo de Conexión		
Alta	D	
Baja	Yn	
Indicativo*30° /Fase	1	
Impedancias		
Impedancia	6,48	%
Ubicación de los Taps		
Alta	X	
Baja		
TAPS	4	
Posición	67275 V	

#### 3.2.2. Datos de las Líneas

Tabla 5. Características de los Conductores

Área de Aluminio	Trenzado Al/St	Diámetro Exterior (Pulg)	GMR (Pies)
336,4 MCM		0,741	0,0255
3/0 AWG	6/1	0,502	0,0066
2/0 AWG	6/1	0,447	0,0051
1/0 AWG	6/1	0,398	0,00446
Corriente A	Resistencia (Ohm/Mi)		Reactancia Inductiva
	25C	50C	
530	0,278	0,306	0,445
300	0,56	0,4493	0,621
270	0,706	0,5562	0,641
230	0,888	0,696	0,656

### 3.3. Resultados de los estudios de Flujo de Carga

#### 3.3.1. Voltajes en Barras.

Tabla 6. Voltajes en las Barra para máxima carga

N	1	2
Nombre	Barra 69 Kv	Barra 13,8 Kv
V Nom (Kv)	69	13,8
Voltaje (p.u)	0,975	0,988
Fase	-3,12	-34,93
Voltaje (Kv)	67,3	13,6

Tabla 7. Voltajes en las Barra para mínima carga

N	1	2
Nombre	Barra 69 Kv	Barra 13,8 Kv
V Nom (Kv)	69	13,8
Voltaje (p.u)	0,984	1,008
Fase	-2,48	-32,58
Voltaje (Kv)	67,9	13,9

#### 3.3.2. Consumos

Tabla 8. Consumo en Barras para máxima Carga.

Consumo para carga máxima		
J.B.AGUIRRE	147 [kW]	59 [kVAR]
SALITRE	1988 [KW]	772 [KVAR]
VERNAZA	2838 [KW]	1017 [KVAR]

Tabla 9. Consumo en Barras para mínima Carga.

Consumo para carga mínima		
J.B.AGUIRRE	42 [KW]	25 [kVAR]
SALITRE	159 [KW]	92 [kVAR]
VERNAZA	88 [KW]	47 [kVAR]

#### 3.3.3. Carga de los Transformadores

Tabla 10. Potencias entre barras para carga máxima.

Desde	Barra 69
Hasta	Barra 13,8
MW	5,98
MVAR	2,035
MVA	5,396
MVA Lim	10
%lim	53,96
Perd Mw	0,025
Perd MVAR	0,189

Tabla 11. Potencias entre barras para carga mínima.

Desde	Barra 69
Hasta	Barra 13,8
MW	0,29
MVAR	0,164
MVA	0,341
MVA Lim	10
%lim	3,41
Perd Mw	0,01
Perd MVAR	0,01

#### 3.3.4. Potencia Activa y Reactiva Recibida del Sistema

**Tabla 12.** Potencia recibida para carga máxima

Potencia recibida para carga máxima		
Barra 69	4,997 MW	2,035 MVAR

**Tabla 13.** Potencia recibida para carga mínima

Potencia recibida para carga mínima		
Barra 69	0,299 MW	0,164 MVAR

## 4. Estudios de Cortocircuito

### 4.1. Alcance de los estudios de Cortocircuito

Considerando que el sistema de la Subestación Juan Bautista Aguirre se caracteriza por ser un sistema típicamente aterrizado el estudio de cortocircuito considera los siguientes tipos de falla como las principales a analizar:

- Falla Trifásica a tierra
- Falla de línea a línea
- Falla de línea a tierra

La falla trifásica a tierra es a menudo, para este tipo de sistema, la más severa de todas, por ello es costumbre de simular solamente la falla trifásica cuando se busca las magnitudes máximas de corriente de falla; sin embargo en la Subestación Juan Bautista Aguirre se verificará todos los tipos de corrientes de fallas, pero se verificará primordialmente que la Corriente de Falla a Tierra no exceda la corriente trifásica.

### 4.2. Datos del Sistema

A continuación se detallaran cada uno de los parámetros del sistema que se necesitan para realizar los estudios de corto circuito de la Subestación Juan Bautista Aguirre:

#### 4.2.1. Impedancias equivalentes en la barra de la subestación

**Tabla 14.** Impedancias Equivalentes máxima generación para 69 KV

Tipo de impedancia	R ohmios	X Ohmios	R (p.u.)	X (p.u.)	X/R
Positiva	3,39	16,213	0,0713	0,3405	4,76
Negativa	3,39	16,213	0,0713	0,3405	4,76
Cero	10,39	46,679	0,2183	0,9804	4,49

**Tabla 15.** Impedancias Equivalentes mínima generación para 69 KV

Tipo de impedancia	R ohmios	X Ohmios	R (p.u.)	X (p.u.)	X/R
Positiva	3,39	16,213	0,0713	0,3405	4,76
Negativa	3,39	16,213	0,0713	0,3405	4,76
Cero	10,39	46,679	0,2183	0,9804	4,49

### 4.2.2. MVA de Cortocircuito

**Tabla 16.** MVA de cortocircuito máxima generación

Tipo de Falla	Potencia de Falla (MVA)
LLL	291,13
LG	177,47
LL	252,05
LLG	260,65

**Tabla 17.** MVA de cortocircuito mínima generación

Tipo de Falla	Potencia de Falla (MVA)
LLL	276,19
LG	173,65
LL	239,26
LLG	248,34

## 4.3. Resultados del Estudio de Cortocircuito

**Tabla 18.** Corrientes de Falla para máxima carga

I <sub>falla</sub>	I <sub>cc</sub> barra 69[KV] (A)	I <sub>cc</sub> barra 69[KV] (p.u.)	Capacidad de cortocircuito (MVA)
LLL	2440	2,9161	296
LG	1498	1,7903	182
LL	2113	2,5253	256
LLG	2186	2,6125	131

**Tabla 19.** Corrientes de Falla para mínima carga

I <sub>falla</sub>	I <sub>cc</sub> barra 13,8[KV] (A)	I <sub>cc</sub> barra 13,8[KV] (p.u.)	Capacidad de cortocircuito (MVA)
LLL	4301	1,028	107
LG	4888	1,1683	122
LL	3725	0,8904	93
LLG	4736	1,132	141

## 5. Protección de la S/E de Distribución

### 5.1. Esquemas de Protecciones

Conformada con un interruptor GCB (Gas Circuit Breaker) en el lado primario del transformador de potencia (69KV), un interruptor VCB en el lado secundario del transformador de potencia (13,8KV).

Como protección en la subestación se encuentra un relé digital SPAJ140C para la protección de sobre corriente en el lado de alta tensión, y en el lado de baja tensión se encuentran relés electromecánicos de sobre corriente e instantáneo.

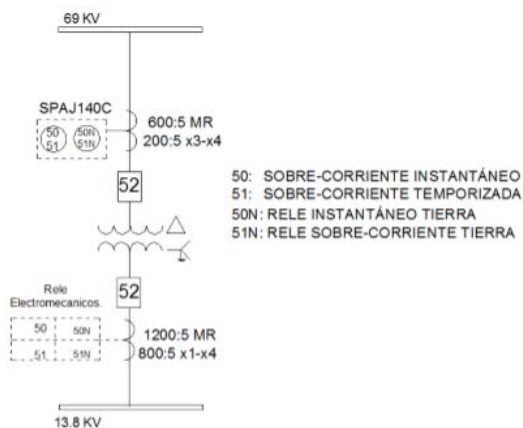


Figura 4. Esquema actual de Protección de la S/E

Los elementos de protección propuestos se detallan a continuación:

- RELE TPU2000R para protección en el transformador de potencia.
- RELE SPAJ140C para protección en los alimentadores de la Subestación.

A continuación se presenta el diagrama unifilar con las protecciones a proponer.

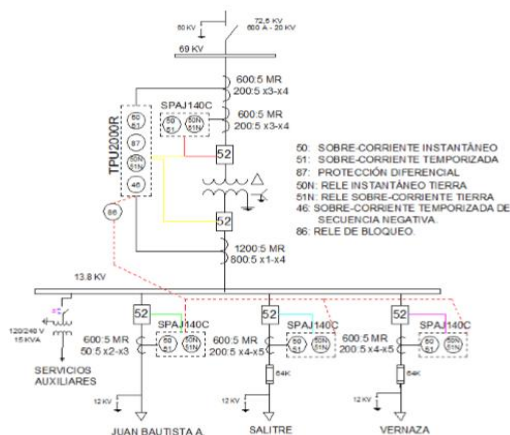


Figura 5. Esquema de Protección de la S/E a proponer.

Las funciones principales del Relé TPU2000R aplicables para la protección son las siguientes:

- Protección diferencial.
- Protección de sobrecorriente de tiempo inverso.
- Protección de sobrecorriente instantánea
- Protección de sobrecorriente de tierra de tiempo inverso e instantánea.
- Protección de secuencia negativa.

### 5.2. Protección del Transformador de Potencia

A continuación se muestra el resumen del ajuste de la protección diferencial 87.

Tabla 19. Ajuste de la Protección Diferencial

Transformador de Potencia	
<b>Datos del Sistema en Alta Tensión (69 KV)</b>	
Conexión	Delta
Corriente Nominal	104,59 [A]
Relación de CT	200/5
Corriente secundaria	2,61 [A]
<b>Datos del Sistema en Baja Tensión (13,8 KV)</b>	
Conexión	Estrella
Corriente Nominal	522,96 [A]
Relación de CT	800/5
Corriente secundaria	3,268 [A]
<b>Ajuste</b>	
TAP en alta	2,7 [A]
TAP en baja	5,9 [A]
Pendiente de Restricción	30%
Pickup mínimo	0,3
Ajuste 87H	6,19

### 5.3. Aplicación de las Protecciones de Sobrecorriente del relé TPU2000R

#### 5.3.1. Protección de sobrecorriente de tiempo inverso de fase (51p).

La función 51-P (Sobre-corriente Temporizada) protege al transformador de potencia contra fallas, mandando una señal al interruptor para que este actúe con un retardo de tiempo, aislando la falla.[3]

Las funciones 51-P disponen de dos modos de reposición:

#### Modo de reposición instantánea.

La función se repone inmediatamente cuando la corriente cae por debajo del ajuste de arranque durante medio ciclo.

### Modo de reposición retardada,

La función sigue una característica de reposición lenta que depende de la duración de la condición de sobre-corriente y de la magnitud de la corriente de carga luego de la condición de sobre-corriente.

### 5.3.2. Protección de sobrecorriente instantáneo de fase (50p).

La función 50-P (Sobrecorriente Instantánea) es una protección instantánea para el transformador de potencia.

Los ajustes de arranque de la función 50-P de sobrecorriente instantánea son múltiplos de los ajustes de arranque de sobrecorriente temporizada del 51-P.

### 5.3.3. Protección de Sobrecorriente Temporizada de Secuencia Negativa (46).

La Función del 46 (Protección de Sobre-corriente temporizada de secuencia negativa) nos aumenta la sensibilidad ante fallas de fases (fase – fase).

Todas las funciones del 46 disponen del mismo rango de arranque, Selecciones de curvas y rango de dial de tiempo que las selecciones de 51P.[2]

### 5.4. Protección a las alimentadoras de la Subestación Juan Bautista Aguirre

En la protección de las alimentadoras primarias de la Subestación, se dispone de un relé digital (SPAJ140C).

Esta protección fue recomendada por nosotros en conjunto con el director de la materia de graduación. Por lo cual la subestación de distribución contara con varios relés digitales (SPAJ140C), Uno en el lado de alta tensión del transformador de potencia y otros en las alimentadoras de la Subestación, En donde el funcionamiento será exactamente el mismo.

Las funciones a usar del relé digital SPAJ140 C son las siguientes:

Funciones 51-P, 50-P, 51N y 50-N.

## 6. Coordinación de las Protecciones

En este capítulo se tiene como objetivo realizar una correcta coordinación de protección de los elementos de la S/E Juan Bautista Aguirre como la ayuda de los capítulos anteriores del presente trabajo, los cuales son el estudio de cortocircuito y el estudio de flujo de carga y también haciéndose uso de la herramienta computacional CYMTCC 4.4 Rev8, software que sirve para hacer estudios de protección contra sobre corriente en todo tipo de red eléctrica, siendo nuestro caso una red de distribución eléctrica.

Para lograr los criterios de selectividad, estabilidad, rapidez y seguridad, la coordinación debe realizarse desde el dispositivo más alejado a coordinar siguiendo aguas arriba hacia la S/E; de tal forma que se evitan aperturas

del circuito por falsos disparos, logrando proveer respaldo y aumentando la continuidad y confiabilidad del suministro de energía.

## 6.1. Coordinación de las Protecciones del Sistema de Distribución

### 6.1.1. Coordinación de las Protecciones de la alimentadora Juan Bautista Aguirre.

A continuación se muestra la coordinación de las protecciones para la alimentadora Juan Bautista Aguirre.

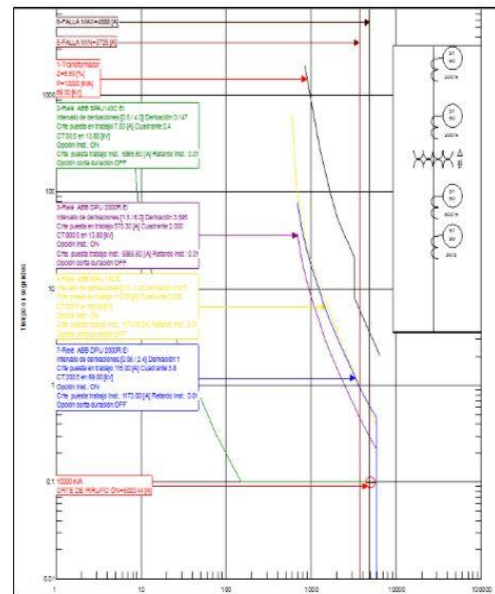


Figura 6. Coordinación de protecciones de la alimentadora J.B. AGUIRRE

### 6.1.2. Coordinación de las Protecciones de las alimentadoras Vernaza y Salitre.

Puesto que la corriente de operación de la alimentadora SALITRE es muy aproximada a la alimentadora VERNAZA, y basándonos en los criterios de distribución que se pretende estandarizar los equipos, se procederá a realizar una sola coordinación para las 2 alimentadoras.

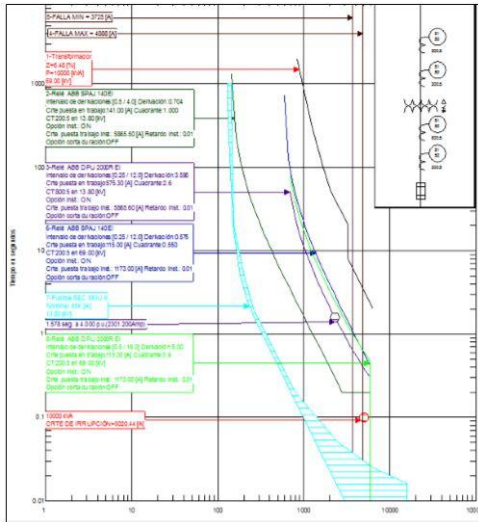


Figura 7. Coordinación de protecciones de las alimentadoras Vernaza y Salitre.

## 6.2. Resultados de la Coordinación

### 6.2.1. Resumen de los Ajustes 50, 51, 51G y 46 del relé TPU2000R.

Tabla 20. Ajuste de la función 50P

Ajustes 50-P	Lado De Alta	Lado De Baja
Ipick-up PRIMARIO	2928 [A]	5865,6 [A]
Ipick-up SECUNDARIO	73,2 [A]	36,66 [A]
TC's	200/5	800/5

Tabla 21. Ajuste de la función 51P

Ajustes 51-P	Lado De Alta	Lado De Baja
Ipick-up PRIMARIO	115,05 [A]	575,26 [A]
Ipick-up SECUNDARIO	2,87 [A]	3,6 [A]
TC's	200/5	800/5
TD	0,5	0,2

Tabla 22. Ajuste de la función 51G

Ajustes 51-G	10% de I plena carga
Itap	52,3 [A]
I SECUNDARIO	1,3 [A]
TC's	200/5

Tabla 23. Ajuste de la función 46

Ajustes 46	Lado De Alta 46-1	Lado De Baja 46-2
I primario	60,66 [A]	303,32[A]
I secundario	1,52 [A]	1,89 [A]

### 6.2.2. Resumen de los Ajustes 50 y 51 del relé SPAJ-140C de las alimentadoras,

Tabla 24. Ajuste de la función 50 en las alimentadoras

Ajuste Relé Spaj-140c	
Alimentadora Juan Bautista Aguirre	
Ajustes 50	Valores
Ipick-Up PRIMARIO	5865,6 [A]
Ipick-Up SECUNDARIO	586,56[A]
TC'S	50/5
Alimentadora Salitre	
Ajustes 50	Valores
Ipick-Up PRIMARIO	5865,6 [A]
Ipick-Up SECUNDARIO	146,64 [A]
TC'S	200/5
Alimentadora Vernaza	
Ajustes 50	Valores
Ipick-Up PRIMARIO	5865,6 [A]
Ipick-Up SECUNDARIO	146,64 [A]
TC'S	200/5

Tabla 25. Ajuste de la función 51 en las alimentadoras

Ajuste Relé Spaj-140C	
Alimentadora Juan Bautista Aguirre	
Ajustes 51	Valores
Ipick-Up PRIMARIO+ 10% Sobrecarga	7,37 [A]
Ipick-Up SECUNDARIO	0,737 [A]
TC'S	50/5
TD	0,4
Alimentadora Salitre	
Ajustes 51	Valores
Ipick-Up PRIMARIO+ 10% Sobrecarga	140,8 [A]
Ipick-Up SECUNDARIO	3,52 [A]
TC'S	200/5
TD	0,6
Alimentadora Vernaza	
Ajustes 51	Valores
Ipick-Up PRIMARIO+ 10% Sobrecarga	140,8 [A]
Ipick-Up SECUNDARIO	3,52 [A]
TC'S	200/5
TD	0,6

## 7. Conclusiones

- 1) Se verifica que nuestra recomendación de sustituir relés numéricos por los relés electromecánicos que se están usando actualmente en la S/E, conllevan una serie de beneficios, entre los que están: a) Se reduce el costo por mantenimiento a estos equipos. b) Se reduce el tiempo de ajuste



de los equipos, además de que se los puede hacer de forma remota. c) La precisión de la coordinación se la puede hacer más fina y precisa, puesto que en caso de que un equipo de protección no opere correctamente ante una falla, el siguiente equipo de respaldo pueda actuar con un margen de tiempo más pequeño (alrededor de los 0,2 segundos); cosa que no era posible con los relés electromecánicos que se estaban usando.

- 2) La capacidad del transformador de potencia es de 10 [MVA], que en comparación de la carga máxima que se maneja (F.U. del 53,96%) operando sus tres alimentadoras, se puede determinar un crecimiento de carga en la S/E, y por ende un cambio en la configuración de la coordinación de protección; tomando en cuenta esto se utilizó transformadores de corriente con multi-taps a fin de poder cambiar también su relación y ajustar los relés numéricos con los nuevos parámetros.
- 3) Teniendo una conexión Delta-Estrella aterrizada en el transformador, el valor de corriente más elevado para caso de fallas, obtenido mediante el análisis del flujo, fue el correspondiente a una falla trifásica en el lado primario y una falla de línea a tierra en el secundario, ya que en esta S/E no se hace uso de una resistencia a tierra para limitar dicha corriente de falla de línea a tierra a la corriente de falla trifásica.

## 8. Recomendaciones

- 1) Se recomienda hacer el cambio de los relés electromecánicos a relés numéricos, ya que nos brindan una serie de beneficios tanto para el sistema, como para las personas que operan con dichos equipos.
- 2) Incluir el relé PU-2000R para la protección diferencial del transformador Incluir en las alimentadoras los relés SPAJ-140C reemplazando a los relés Mitsubishi electromecánicos que están instalados actualmente en la S/E
- 3) Hacer una adecuada instalación de un sistema de puesta a tierra de las S/E, ya que actualmente no cuenta con una debida instalación, lo que puede poner en riesgo a los equipos y al personal de la S/E.
- 4) Se recomienda la instalación de una resistencia a tierra en el lado del secundario del transformador de potencia, a fin de limitar la corriente de falla de línea a tierra con la corriente de falla trifásica.

## 9. Referencias

- [1] Cyme International T&D Inc, Análisis básico de CYMDIST – Guía de Usuario CYME 5.04, <http://cyme.com>, fecha de consulta Abril 2014.
- [2] ABB Inc, Manual de Instrucciones TPU2000R Unidad de Protección de Transformadores. <http://es.scribd.com/doc/57486120/tpu2000R-Unidad-de-Proteccion-de-Transformadores#scribd>, edición Diciembre 2001, fecha de consulta Abril 2014.
- [3] J. Lewis Blackburn, Protective Relaying: Principles and applications, tercera edición, fecha de consulta Mayo 2014.
- [4] Enrique Harper, Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales, Segunda Edición, fecha de consulta Mayo 2014.
- [5] ABB Inc, Manual ABB Relé combinado de sobre corriente y falla a tierra, Versión C 2007-04-04 [http://www09.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/417130481fd1cb0cc125730000351eb8/\\$file/FM\\_SPAJ140C\\_750208\\_EScab.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/417130481fd1cb0cc125730000351eb8/$file/FM_SPAJ140C_750208_EScab.pdf), fecha de consulta Mayo 2014.
- [6] IEEE Southern Alberta Section, IEEE Guide for Protecting Power Transformers, [http://sas.ieee.ca/pesias/SAS\\_Nov\\_Seminar\\_Part1Revgl.pdf](http://sas.ieee.ca/pesias/SAS_Nov_Seminar_Part1Revgl.pdf), 30 mayo 2008, fecha de consulta junio 2014.
- [7] ABB Inc, Gas insulated switch-disconnectors. [https://library.e.abb.com/public/889544de255d596bc12576dd00574ae8/LE\\_SHS2\(EN\)F\\_1VCP0000471003.pdf?filename=LE\\_SHS2\(EN\)F\\_1VCP000047-1003.pdf](https://library.e.abb.com/public/889544de255d596bc12576dd00574ae8/LE_SHS2(EN)F_1VCP0000471003.pdf?filename=LE_SHS2(EN)F_1VCP000047-1003.pdf), fecha de consulta julio 2014.