

Estudio de Coordinación de las Protecciones en Base a Herramientas Computacionales Aplicable a la Subestación de Distribución Cerro Blanco

Pamela Denisse Henríquez Zúñiga⁽¹⁾, Carlos Xavier Saltos Pincay⁽²⁾, Sixto Miguel Yáñez Mayorga⁽³⁾, Juan Saavedra Mera⁽⁴⁾, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)⁽⁴⁾, Ingeniero en Electricidad especialización Potencia⁽⁴⁾

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

pamelita_1901@hotmail.com⁽¹⁾, cax_saltos@hotmail.com⁽²⁾, smyanez_22@hotmail.com⁽³⁾, jsaavedra@hidronacion.org⁽⁴⁾

Resumen

En el presente documento se desarrolla el estudio de la coordinación de protecciones de la Subestación de Distribución de Energía Eléctrica Cerro Blanco, con la ayuda de herramientas computacionales, análisis de flujos de carga, estudios de cortocircuito, criterios de coordinación de ingeniería y sus correspondientes expresiones matemáticas, que nos faciliten el estudio proveyéndolo de mayor precisión y fácil reajuste.

La utilización de estas herramientas nos permitió, concentrar nuestros esfuerzos en el proceso de la información bajo criterios de ingeniería, aplicables de manera general ante cualquier coordinación de protecciones en Subestaciones, escoger la mejor opción y ajuste de los distintos dispositivos de protección que se encuentran instalados, basados en sus características y normas de coordinación.

Palabras Claves: *Subestación Cerro Blanco, Coordinación de Protecciones, Estudio de Flujo de Carga, Estudio de Cortocircuito.*

Abstract

This paper develops the study of coordination of electrical protections of the Substation of Electricity Distribution "Cerro Blanco", with the help of computational tools, load flow analysis, short circuit study, coordination of engineering criteria and their corresponding mathematical expressions, to facilitate the study providing it with greater precision and easy adjustment.

The use of these tools allowed us, to concentrate our efforts in the process of information on engineering criteria generally applicable to any protection coordination in Substations, to choose the best option and setting of the different protection devices are installed based on their characteristics and standards coordination.

Key Words: *Substation Cerro Blanco, Coordination of Protections, Load Flow Study, Short Circuit Study.*

1. Introducción

La energía eléctrica se involucra en gran parte de las actividades cotidianas del ser humano y una interrupción de este servicio produce pérdidas de diferente índole. Es por esto que, el garantizar la

calidad de servicio constituye una de las principales preocupaciones de las entidades inherentes al suministro eléctrico.

La coordinación de protecciones es una de las herramientas capaces de asegurar la continuidad del

servicio, y a su vez permite preservar los equipos ante la presencia de fallas, buscando minimizar la zona afectada, disminuyendo las operaciones erróneas y proveyendo respaldo.

El presente trabajo desarrolla el estudio de la coordinación de protecciones con la ayuda de herramientas computacionales de la Subestación Cerro Blanco, la cual ya se encuentra en operación, por lo cual es necesario recalcar que la intención del documento no es realizar ajustes reales, pues estos ya existen; sino más bien simular un proyecto de este tipo, con todos los estudios necesarios bajo el cumplimiento de las normas eléctricas, permitiéndonos incluso realizar comparaciones y recomendaciones a la Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil, con el fin de proveer una mejora en la protección actual, asegurando la continuidad del servicio y el buen funcionamiento de los equipos instalados.

2. Descripción de las Instalaciones

La Subestación Cerro Blanco está localizada en el Km 17 Vía a la Costa limita al norte con la vía de ingreso a la Planta de la Empresa Holcim, al sur y al este con una gran extensión de vegetación, al oeste con la Vía a la Costa y al noroeste con el Cuartel del GIR, y dispone de un área de 1200 m² y es propiedad de la Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil (EEPG).



Figura 1. Vista Satelital de la S/E Cerro Blanco (fuente: Google Maps).

Es alimentada a nivel de 69 KV mediante la línea de subtransmisión aérea CEMENTO a través de la subestación ANIBAL SANTOS, con conductores 477 MCM 26/7 ACSR 72 MVA.

La subestación Cerro Blanco dispone de un transformador de potencia marca ABB de 67000/13800 Voltios, capacidad de 18/24 MVA, refrigeración tipo OA/FA, con una conexión delta-estrella sólidamente aterrizado colocado sobre una base de hormigón armado de 3.5m x 2.5m. Este transformador está protegido por un Interruptor en Gas SF6 capaz de despejar corrientes de fallas.

La subestación dispone de abastecimiento de agua potable y sistema de evacuación de las aguas servidas y aguas lluvias. El servicio de recolección de basura está a cargo del consorcio Puerto Limpio que realiza su recorrido en la vía principal. Con la finalidad de cumplir con los estándares de seguridad industrial para subestaciones y proteger a su personal consta de extintores ubicados en el interior para ser utilizados en caso de incendio.

La S/E tiene 4 salidas instaladas, Alimentadoras: Chongon, Cerro Blanco 4, Odebrecht y Puerto Hondo, las que actualmente se encuentran operando. Sin embargo la estructura está construida para tener finalmente cinco salidas de ser necesario.

3. Estudios de Flujo de Carga

Realizamos el Estudio de Flujo de Carga con la finalidad de establecer los voltajes de las barras, potencia entregada por la subestación y determinar si existe o no sobrecarga en las líneas de distribución, para el análisis utilizamos la herramienta computacional PowerWorld Simulator Versión 17 licencia educacional. El Estudio de Flujo de Carga nos proporciona información tales como:

- ✓ Corriente del Sistema (I)
- ✓ Voltaje en las barras (V)
- ✓ Potencia Activa (P)
- ✓ Potencia Reactiva (Q)
- ✓ Factor de potencia (Fp)

Estos parámetros necesitan estar dentro de los rangos establecidos en los estándares y normas del sistema de distribución.

3.1 Datos del sistema

3.1.1 Datos de conductores. El espaciamiento equivalente utilizado en las 4 Alimentadoras de la Subestación Cerro Blanco es 0,73m. Además se estableció una zona donde está ubicada la subestación con temperatura ambiente 25°C y donde hay viento, la potencia máxima del conductor establecida es 10 MVA.

Tabla 1. Datos de Líneas de Distribución.

Lineas		Calibre del cond. AWG o MCM	Dist (m)	Impedancia en Ω /km por conductor		Impedancia en pu por conductor	
De Barra	A Barra			R	X	R	X
Odebrecht	Valle alto	336,4	4500	0,1727	0,2874	0,4081	0,6791
Cerro Blanco 4	Poste Holcim		250			0,0227	0,0377
Puerto Hondo	Complejos		700			0,0635	0,1056
Chongon	Residencial		2080			0,1886	0,3139

3.1.2. Datos del Transformador de Potencia.



Figura 2. Transformador de Potencia de la S/E Cerro Blanco, marca ABB.

Tabla 2. Datos de placas del Transformador de Potencia.

MVA	AT	18/24/26,9
	BT	18/24/26,9
kVolt.	AT	67,0 +/- 2x2,685%
	BT	13,8 +/- 16x5/8%
Amp.	AT	155,1 / 206,8 / 231,8
	BT	753,0 / 1004,1 / 1125,4
Impedancia (%)	67/13,8 KV	6,64%
	18 MVA	
Aislamiento Interno (KV)	AT	140/350 BIL
	ABT	24/110 BIL
	NBT	34/110 BIL
Aislamiento Externo (KV)	AT	140/350 BIL
	ABT	24/110 BIL
	NBT	34/110 BIL
Aceite	Nynas 10 GBN	
Norma	ANSI C57	

3.2 Criterios adoptados para el estudio.

3.2.1 Flexibilidad Operacional. El sistema podrá funcionar mediante un suministro de energía proveniente de la línea de subtransmisión CEMENTO a través de la subestación ANIBAL SANTOS de la ciudad de Guayaquil sin ninguna restricción.

3.2.2 Niveles de Confiabilidad. El sistema debe proveer la continuidad del servicio de forma prioritaria a las Urbanizaciones de gran demanda que estén alimentadas a nivel de 13.8 KV ante la existencia de falla de un elemento del Sistema.

3.2.3 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 Potencia, la carga no debe exceder su capacidad OA (capacidad con enfriamiento por aceite y aire natural).

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

3.3 Análisis de Casos

En el presente análisis se consideran los siguientes casos para el estudio:

CASO 1: Estudios de flujo de carga – caso base carga máxima.

CASO 2: Estudios de flujo de carga – caso base carga mínima.

3.4 Resultados de los Estudios de Flujo de Carga.

Los resultados de Flujo de carga son 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.

3.4.1 Flujo de Carga - Demanda máxima.

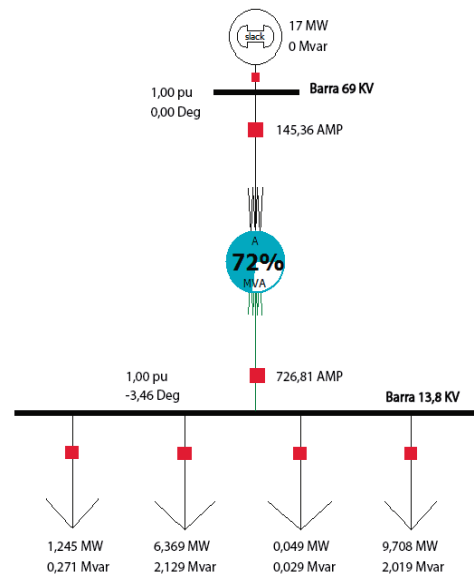


Figura 3. Flujo de Carga – Demanda Máxima.

Tabla 3. Voltaje en las barras para demanda máxima.

Nombre	V. Nom (KV)	Voltaje (p.u.)	Fase
Barra 69	69	1	0°
Barra 13,8	13,8	1	-3,46°

Tabla 4. Cargas Máximas en Alimentadoras.

Alimentadora	MW	MVAR
Cerro Blanco 4	1,25	0,27
Chongón	6,37	2,13
Odebrecht	0,049	0,029
Puerto Hondo	9,71	2,01

El flujo de potencia para carga máxima no excede el 72% de la capacidad en FA (24 MVA) del transformador de potencia con sus cuatro Alimentadoras operando y la caída de voltaje como cargabilidad de los conductores están dentro de los rangos permitidos en las normas técnicas de distribución.

3.4.2 Flujo de Carga - Demanda Mínima.

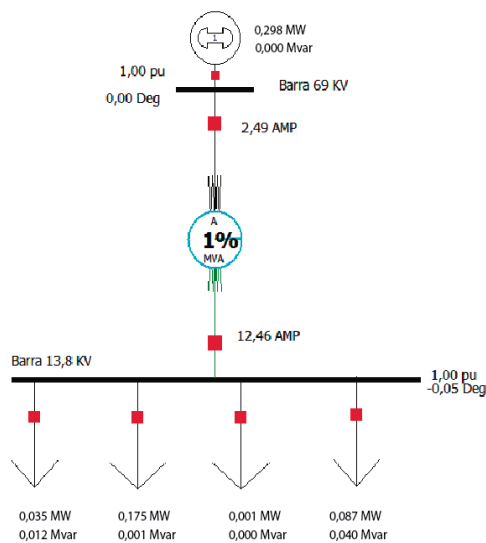


Figura 4. Flujo de Carga – Demanda Mínima.

Tabla 5. Voltaje en barras para demanda mínima.

Nombre	V. Nom (KV)	Voltaje (p.u.)	Fase
Barra 69	69	1	0°
Barra 13,8	13,8	1	-0,059°

Tabla 6. Cargas Mínimas en Alimentadoras.

Alimentadora	KW	KVAR
Cerro Blanco 4	32,49	11,8
Chongón	175,35	0,96
Odebrecht	0,042	0,002
Puerto Hondo	86,93	39,27

Para el caso de demanda mínima la caída de voltaje en los conductores y la cargabilidad de los conductores también son mínimos y están dentro de los rangos establecidos en las normas técnicas de distribución.

4. Estudios de Cortocircuito

En el análisis de cortocircuito, 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.

Ya que el objetivo del presente trabajo es el estudio de coordinación de las protecciones de la S/E Cerro Blanco, requiere realizar estudios de cortocircuito para resolver las situaciones críticas señaladas, y obtener la información básica para la coordinación de las protecciones. Se los realizarán en base a 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 misma.
- Los estudios determinan 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.

4.1 Alcance de los Estudios de Corto Circuito.

Considerando que el sistema de la Subestación Cerro Blanco 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.
- 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 en la Subestación Cerro Blanco se verificará la corriente de falla en todos los escenarios posibles, es decir también las fallas de línea a línea y de dos líneas a tierra, pero también se verificará que la Corriente de Falla a Tierra no exceda la corriente trifásica.

4.2 Datos del Sistema

4.2.1 Impedancias Equivalentes - Punto de Entrega de la Empresa Eléctrica. Para poder realizar el estudio de cortocircuito necesitamos las Impedancias de Thévenin en la barra de Interconexión a 69 KV de la Subestación Cerro Blanco la cual nos proporcionó la Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil (EEPG), tanto para máxima como para mínima generación. La información suministrada tiene como base 100 MVA y 69 KV. las cuales se indican en las Tablas 7 y 8.

Tabla 7. Impedancias Equivalentes para Máxima generación - 69 KV.

Tipo de impedancia	R +jX p.u.	R +jX Ohmios	X/R
Positiva (+)	0,0672086+ j0,1269470	3,1998+ j 6,0439	1,8888
Negativa (-)	0,0672086+ j0,1269470	3,1998+ j 6,0439	1,8888
Cero	0,1043929+ j0,5278888	4,9701+ j 25,1328	5,0567

Tabla 8. Impedancias Equivalentes para Mínima generación - 69 KV.

Tipo de impedancia	R +jX p.u.	R +jX Ohmios	X/R
Positiva (+)	0,0700984+j0,1549280	3,3374+j7,3761	2,2102
Negativa (-)	0,0700984+j0,1549280	3,3374+j7,3761	2,2102
Cero	0,1043929+j0,5278888	4,9701+j25,1328	5,0567

4.2.2 MVA de cortocircuito. De igual manera, la EEPG nos proporcionó los MVA de cortocircuito para la barra de 69 KV, en máxima y mínima generación las cuales se pueden observar en la Tablas 9 y 10.

Tabla 9. MVA de cortocircuito en Máxima Generación.

Tipo Falla	Potencia de Falla (MVA)
LLL	696
LG	367
LL	603
LLG	646

Tabla 10. MVA de Cortocircuito en Mínima Generación.

Tipo Falla	Potencia de falla (MVA)
LLL	588
LG	344
LL	509
LLG	546

4.2.3 Datos de conductores. Los conductores son elementos pasivos en el análisis de cortocircuito y sus características técnicas son similares a las aplicadas en los estudios de flujo de carga.

4.2.4 Datos del Transformador. Al igual que los conductores los Transformadores también son

elementos pasivos en el análisis de cortocircuito, sus características técnicas son análogas a las aplicadas en los estudios de flujo de carga.

4.3 Resultados del Estudio de Corto Circuito.

Las corrientes de cortocircuito han sido calculadas considerando los criterios técnicos indicados en la sección 2.3. La falla Trifásica y la de línea a tierra se aplica a cada barra del sistema.

4.3.1 Corrientes de falla - Máxima Carga.

Tabla 11. Corriente de Cortocircuito en la Barra 69 KV. Carga Máxima.

Tipo de falla	Icc a 69 KV (A)	Icc a 69 KV p.u.	Ángulo (°)	Capacidad de cc. (MVA)
LLL	5825,11	6,962	-62,1	696
LG	3070,79	3,670	-73,01	367
LL	5044,69	6,029	-152,1	603
LLG	2066,87	2,470	103,1	247

Tabla 12. Corriente de Cortocircuito en la Barra 13,8KV. Carga Máxima.

Tipo de falla	Icc a 13,8 KV (A)	Icc a 13,8 KV p.u.	Ángulo (°)	Capacidad de cc. (MVA)
LLL	9679,83	2,314	-81,05	231
LG	10804	2,582	-83,36	258
LL	8382,98	2,004	-171,05	200
LLG	12195,6	2,915	93,74	292

4.3.2 Corrientes de falla - Mínima Carga.

Tabla 13. Corriente de cortocircuito en la Barra 69KV. Carga Mínima.

Tipo de falla	Icc a 69 KV (A)	Icc a 69 KV p.u.	Ángulo (°)	Capacidad de cc. (MVA)
LLL	4920,52	5,881	-65,66	588
LG	2876,3	3,438	-73,72	344
LL	4261,3	5,093	-155,66	509
LLG	2020,44	2,415	102,97	241

Tabla 14. Corriente de cortocircuito en la Barra 13,8KV. Carga Mínima.

Tipo de falla	Icc a 13,8 KV (A)	Icc a 13,8 KV p.u.	Ángulo (°)	Capacidad de cc. (MVA)
LLL	9089,08	2,173	-83,39	217
LG	10305	2,463	-83,39	246
LL	7871,38	1,881	-171,24	188
LLG	11871,4	2,838	93,8	284

5. Protección de la Subestación de Distribución

5.1 Esquema de Protección

El esquema de protecciones del transformador de potencia de la subestación Cerro Blanco comprende el relé TPU 2000R de la marca ABB que sirve para su protección primaria y la protección secundaria de la red.

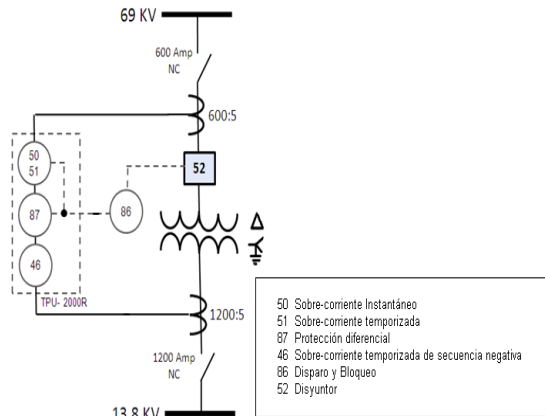


Figura 5. Esquema de Protecciones del Transformador de Potencia.

Las funciones principales que dispone el relé TPU 2000R de la marca ABB son:

Protección de fase

- ✓ Protección diferencial.
Con restricción de armónicos: 87T.
Sin restricción de armónicos: 87H.
- ✓ Sobre-corriente temporizada: 51.
- ✓ Sobre-corriente temporizada de secuencia negativa: 46.
- ✓ Sobre-corriente Instantáneo: 50.

Protección de tierra

- ✓ Sobre-corriente temporizada: 51N y 51G.
- ✓ Sobre-corriente instantánea: 50N.

5.2 Protección del Transformador de Potencia

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

Tabla 15. Resumen de Ajuste del Relé Diferencial 87

Ajuste del Relé Diferencial 87	
Transformador 18/24 MVA	
Alta Tensión	
Conexión en Alta	Delta
Corriente nominal en alta	200,8175 [A]
Relación de CT	600:5
Corriente en secundario CT	1,67 [A]
Corriente pickup alta (TAP)	2,0 [A]
Baja Tensión	
Conexión en Baja	Y aterrizado
Corriente nominal en baja	1004,0874 [A]
Relación de CT	1600:5
Corriente en secundario CT	7,24 [A]
Corriente pickup baja (TAP)	9,0 [A]
Error	
Error por TAP	0,1
Error por CT	0,05
Mismatch	0,036
Error por Inrush	0,05
Ajuste	
Pickup mínimo 87T	0,3[A]
Pendiente 87T	30%
Ajuste del 87H	5,04

En la S/E Cerro Blanco, el transformador fue construido bajo el Estándar IEEE C57.12 [8], y en la cual se identifica como de Categoría III, por ser de servicio trifásico y tener 18 MVA de mínima capacidad.

6. Coordinación de las Protecciones

El objetivo de este capítulo es lograr una correcta coordinación de las protecciones, para ello utilizaremos el programa computacional CYMTCC 4.5 Rev. 13, el cual dispone de una extensa gama de elementos de protección con sus respectivas graficas tiempo-intensidad, los estudios de flujo de carga y cortocircuito realizados en capítulos anteriores.

Para lograr los criterios de selectividad, estabilidad, seguridad y rapidez, la coordinación debe realizarse desde el punto más lejano de carga hacia la S/E. De esta manera, los elementos a coordinar corresponderán a los fusibles ubicados a lo largo de las Alimentadoras, en ramales y sub-ramales, seccionadores y reconectores presentes en el patio de maniobras hasta llegar a la protección del transformador.

6.1 Esquema de Protecciones

El esquema de protecciones de la subestación Cerro Blanco dispone del relé TPU 2000R para protección primaria del transformador y secundaria de la red, la cual frente a una falla ordena la apertura a los contactos del interruptor a gas SF6 (GCB).

Entre las barras principales y de transferencia se observa el reconector Cooper VWE con su respectivo controlador Cooper de Forma 6, como se muestra en la Figura 6. Estos dan paso a las alimentadoras trifásicas denominadas principales o troncales, las cuales poseen ramales secundarios o sub-ramales bifásicos y monofásicos (no mostrados en el esquema de protecciones), protegidos generalmente por fusibles.

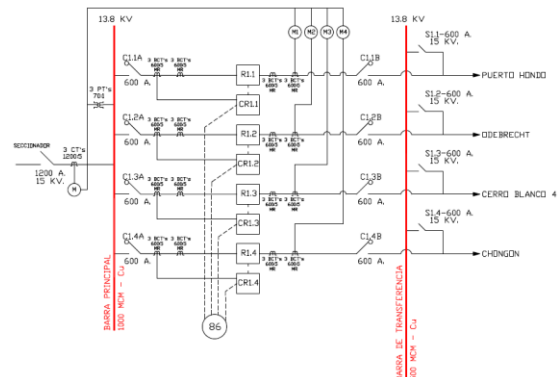


Figura 6. Esquema de Protecciones de la Red de Distribución.

6.2. Protección de Ramales

Los ramales son protegidos con fusibles. La Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil emplea tipo K, los mismos que cumplen las normas ANSI C37.42-1989 [5]. Para determinar el correcto fusible se deberá tomar en cuenta la corriente de la carga, voltaje del sistema, tipo del sistema y máxima corriente de falla en el lugar donde se coloquen.

Para efecto de obtención de la información necesaria se realizó el levantamiento de las 4 alimentadoras de la S/E Cerro Blanco, de los primeros puntos. Con todos los criterios mencionados en el capítulo y la información obtenida en el levantamiento, determinaremos la corriente de carga y el correcto fusible a utilizar en el punto especificado de cada Alimentadora.

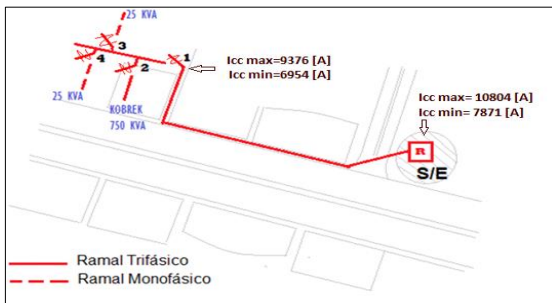


Figura 7. Recorrido de 4 puntos de protección de alimentadora Cerro Blanco 4.

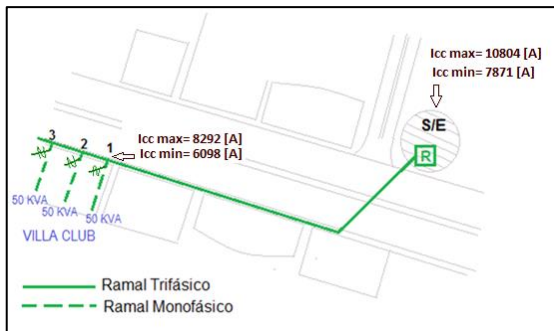


Figura 8. Recorrido de 3 puntos de protección en la alimentadora Odebrecht.

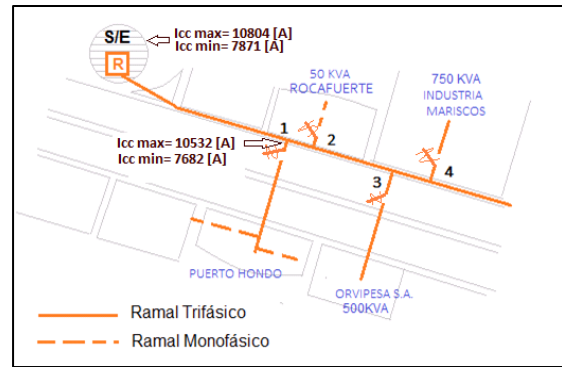


Figura 9. Recorrido de 3 puntos de protección en la alimentadora Puerto Hondo.

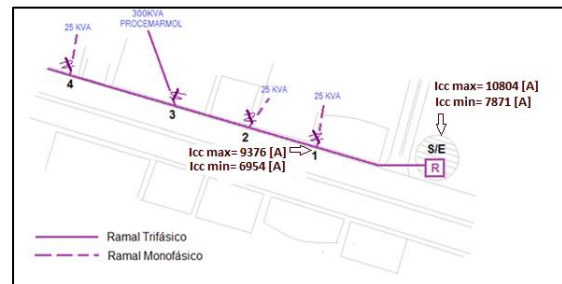


Figura 10. Recorrido de 4 puntos de protección en la alimentadora Chongon.

6.3. Coordinación del Reconector

La S/E dispone de un reconector Cooper VWE en cada una de sus Alimentadoras con su respectivo controlador Cooper de Forma 6, posee un funcionamiento electrónico y un amplio número de curvas para hacer más versátil el ajuste del reconector.

6.3.1. Factores para aplicación del Reconector.

Para una válida aplicación de re conectores deben ser considerados los siguientes factores:

1. La tensión nominal del sistema debe ser igual o menor a la tensión de diseño del reconector.
2. La corriente máxima permanente de carga en el punto del sistema donde se ubicará, debe ser menor o igual a la corriente nominal de reconector.
3. Debe tener una capacidad de ruptura mayor o igual, a la corriente máxima de falla en el punto de aplicación.
4. La corriente mínima de operación debe escogerse de modo que detecte todas las fallas que ocurran dentro de la zona que se ha encomendado proteger (sensibilidad).

5. Las curvas tiempo-corriente y la secuencia de operación deben seleccionarse adecuadamente, de modo que sea posible coordinar su operación con otros elementos de protección instalados en el mismo sistema. [6].

Para la selección del ajuste de la mínima corriente de operación del reconectador, se debe tener en cuenta los mantenimientos programados en las Alimentadoras donde hay transferencia de carga de una Alimentadora a otra. Por lo tanto tenemos:

$$I_{R1} = I_{R2} = I_{R3} = I_{R4} = I_{AL.Chongón} + I_{AL.Cerro_Blanco4} \quad (5.1)$$

$$I_R = 272,89[A] + 227,42[A] = 500,31[A] \quad (5.2)$$

Se escogió la opción del reconectador que más cerca a este valor, en este caso a su inmediato superior con un valor de 560 [A] de corriente mínima de operación. Considerando los factores ya mencionados, se escogió dos curvas rápidas y una lenta en cada Alimentadora con el objetivo de tener al transformador sometido el menor tiempo posible a una corriente de falla, se seleccionó la curva rápida 101 y lenta 117 en cada Alimentadora debido a que el tiempo de coordinación entre curvas de dispositivos de protección debe ser mayor o igual a 0,2 segundos [11].

6.4. Resultados de la Coordinación

6.4.1 Coordinación - Alimentadora Cerro Blanco 4.

La Figura 11 muestra los resultados de la coordinación de los dispositivos de protección en la alimentadora Cerro Blanco 4.

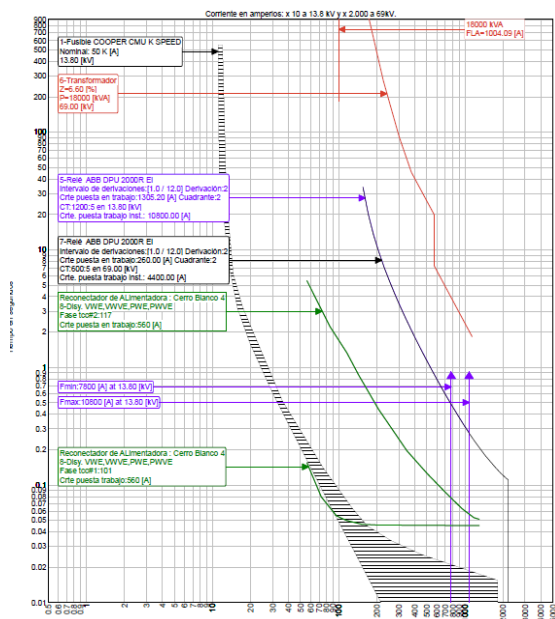


Figura 11. Curvas de Protección en la Alimentadora Cerro Blanco 4.

6.4.2. Coordinación-Alimentadora Odebrecht. La Figura 12 muestra los resultados de la coordinación de los dispositivos de protección en la alimentadora Odebrecht.

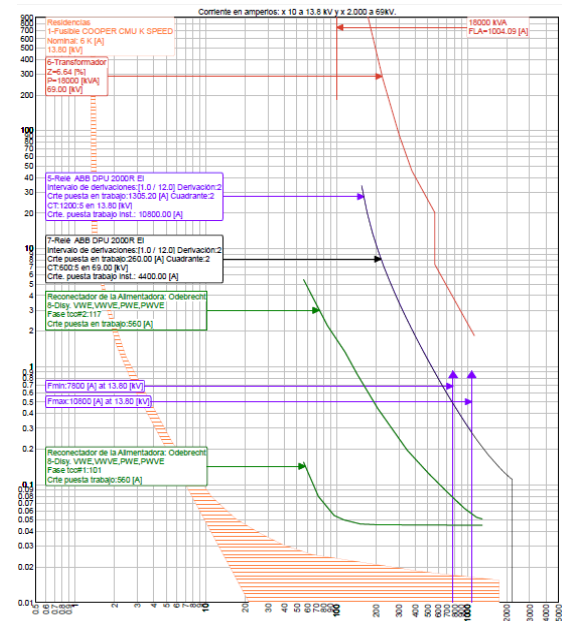


Figura 12. Curvas de Protección en la Alimentadora Odebrecht.

6.4.3. Coordinación - Alimentadora Puerto Hondo.

La Figura 13 muestra los resultados de la coordinación de los dispositivos de protección en la alimentadora Puerto Hondo.

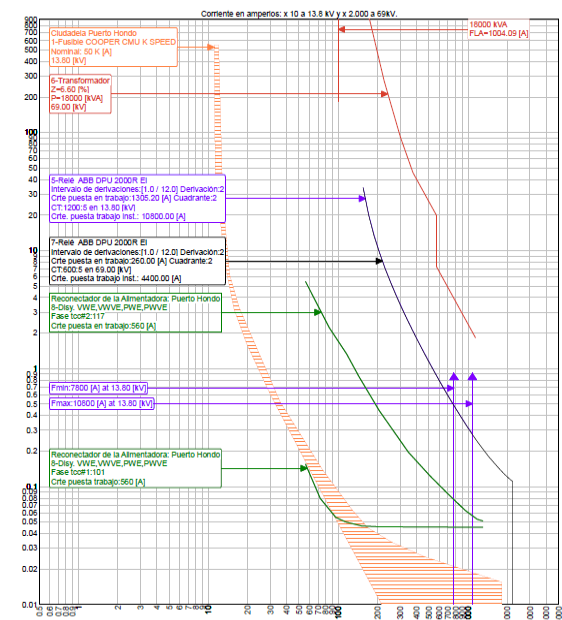


Figura 13. Curvas de Protección en la Alimentadora Puerto Hondo.

6.4.4. Coordinación-Alimentadora Chongon. La Figura 14 muestra los resultados de la coordinación de los dispositivos de protección en la alimentadora Chongon.

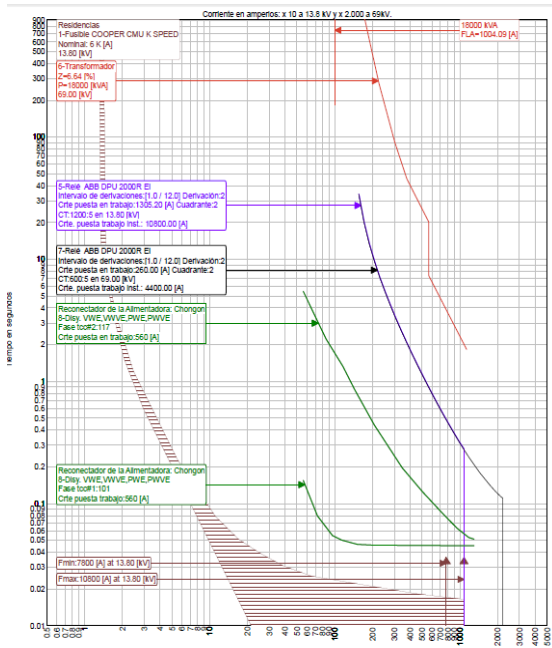


Figura 14. Curvas de Protección en la Alimentadora Chongon.

Observamos que para cualquier falla en uno de los ramales, primero operan sus respectivos fusibles, quedando así fuera de servicio la menor sección posible, debido a una contingencia.

La operación de los reancladores será únicamente cuando se trate de una falla en la alimentadora o como respaldo de algún fusible.

La curva de la función 51 del TPU 2000R o protección de sobrecorriente temporizada de fase está por debajo de la curva de daño del transformador, protegiéndolo contra corrientes de fallas ya sea en el lado de 69 KV o en el lado de 13,8 KV.

La protección de sobrecorriente instantánea de fase o función 50 del TPU 2000R está ajustada en 4400 [A] del lado de 69 [KV], ajuste realizado bajo la norma C37.91.2000, y 10800 [A] del lado de 13,8 KV ajuste realizado de acuerdo a los resultados del análisis de cortocircuito.

6.4.5. Resumen de Ajuste. La Tabla 16 muestra el ajuste de los dispositivos de protección de la S/E Cerro Blanco.

Tabla 16. Resumen de Ajustes de los dispositivos de Protección de la S/E Cerro Blanco.

Tipo	KV LL	I nom. [A]	Relacion CT	Factor CT	Factor	I aj. Sec	I Sec.	I Primario	Tipo Curva	TD
87-T	-	200,8	600:5	120	1	2	1,67	200,8	INST	-
87-H	-	150,6	600:5	120	8	5,02	10,04	1205	-	-
51-P-1	69	200,8	600:5	120	1,3	2,2	2,17	261	E.L	2
51-P-2	13,8	1004	1200:5	240	1,3	5,4	5,4	1296	E.L	2
50-P-1	69	200,8	600:5	120	2	22,1	36,6	4400	INST	-
50-P-2	13,8	1004	1200:5	240	1	10,7	45	10800	INST	-
51-G-2	13,8	1004	600:5	120	0,1	1	1	120	E.L	7
46-1	69	200,8	600:5	120	0,58	1	1	120	INV	2
46-2	13,8	1004	1200:5	240	0,58	2,4	2,4	584	INV	2
Rec-L-C.Blanco4	13,8	103	1000:5	200	1	1,6	2,8	560	117	1
Rec-R-C.Blanco4	13,8	103	1000:5	200	1	1,6	2,8	560	101	1
Rec-L-Odebrecht	13,8	25	1000:5	200	1	1,6	2,8	560	117	1
Rec-R-Odebrecht	13,8	25	1000:5	200	1	1,6	2,8	560	101	1
Rec-L-Pto.Hondo	13,8	307	1000:5	200	1	1,6	2,8	560	117	1
Rec-R-Pto.Hondo	13,8	307	1000:5	200	1	1,6	2,8	560	101	1
Rec-L-Chongon	13,8	360	1000:5	200	1	1,6	2,8	560	117	1
Rec-R-Chongon	13,8	360	1000:5	200	1	1,6	2,8	560	101	1

7. Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

- La potencia que consume la S/E Cerro Blanco desde la línea de subtransmisión CEMENTO es de 17,37 MW y 4,44 MVAR para carga máxima, y 0,3 MW y 0,05 MVAR para carga mínima sin exceder el 72% de la capacidad en FA (24 MVA) del transformador de potencia con sus cuatro Alimentadoras operando.
- Teniendo una conexión Delta-Estrella aterrizada en el transformador, el valor de corriente más elevado para caso de fallas, obtenido mediante el análisis del cortocircuito, fue el correspondiente a una falla trifásica en el lado primario y una falla de línea a tierra en el secundario.
- Debido a la sensibilidad de la carga ante interrupciones continuas, las curvas de los reancladores se colocaron por encima de la curva de los fusibles de los ramales. Esto hace que el área de protección de los reancladores no incluya estas derivaciones.
- Se puede concluir por medio del análisis del Flujo de Carga que los voltajes en las barras no exceden los valores preestablecidos por los criterios adoptados para este estudio.
- El estudio del Flujo de Carga nos permitió verificar que la Subestación Cerro Blanco está funcionando bajo los requerimientos y criterios establecidos en el presente estudio.
- El ajuste y coordinación desarrollada en este trabajo asegura una correcta protección al transformador de potencia, equipo de mayor importancia e inversión económica.

7.2. Recomendaciones

- La Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil tiene instalado en la mayoría de sus S/E un relé de frecuencia o denominado en la norma ANSI como 81, ya que esta provee una protección contra cambios en la frecuencia del voltaje, ya sea que esta esté bajo o sobre la frecuencia nominal que es de 60 Hz. Para la cual recomendamos instalar esta protección, previo un adecuado estudio, de tal manera que permita el alivio de la carga de menor importancia y provea una mayor calidad de servicio a la carga crítica.
- Se recomienda instalar un INTELLIRUPTER en el punto 1 de la Alimentadora Puerto Hondo que da servicio a la ciudadela Puerto Hondo, debido a que es una zona residencial y con mayor probabilidad de fallas debido a las conexiones rústicas realizadas por los habitantes del sector, ya que con este dispositivo, el transformador de la S/E, conectores, líneas experimentan esfuerzos por sobrecorrientes únicamente de la falla inicial, no de cada operación de restablecimiento, lo que prolonga la vida útil de estos componentes, ya que se disminuiría el daño acumulativo de las fallas directas, especialmente en el transformador de potencia y mejorando la calidad de la energía, sin perturbar a los usuarios del lado de la fuente con caídas de voltaje y parpadeos.
- Se recomienda un mantenimiento a la Subestación en lo que respecta a limpieza en los pórticos ya que se ha acumulado demasiada suciedad que podría causar un funcionamiento no deseado.

8. Referencias

- [1] Manual de Instrucciones, TPU2000R Unidad de Protección de Transformadores, ABB Inc., Edición D Diciembre 2001.
- [2] Eléctrica de Guayaquil, Memoria Técnica General Subestaciones, Enero 2010.
- [3] John J. Grainger, Sistemas de Potencia Análisis y Diseño, Tercera Edición.
- [4] C37.91.2008 - IEEE Guide for Protecting Power Transformer.
- [5] ANSI C37.42-1989, Switchgear - Distribution Cutouts and Fuse Links - Specifications.
- [6] Felipe A. Yam Pérez, Reseña y operación de los reconectores eléctricos.

- [7] Cooper , Electrical Distribution System Protection.
- [8] C57.12.00-2000 - IEEE Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers.
- [9] C37.112, - IEEE Standard Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays.
- [10] IEEE Std C57.109-1993, IEEE Guide for Liquid-Immersed Transformers Through-Fault-Current Duration.
- [11] IEEE Std. C37.91-2000, IEEE Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers.
- [12] Form 6 Microprocessor-Based Recloser Control Programming Guide.
- [13] McGraw-Edison Company, Manual Overcurrent Protection for Distribution System, Power System Division.
- [14] Software PowerWorld Simulator Versión 17, Licencia Educacional.
- [15] Software CYMTCC 4.5 REV 13.