

Estudio de Coordinación de las Protecciones en base a Herramientas Computacionales aplicable a la Subestación Eléctrica Puerto Santa Ana

Asanza Soto Marlon Paul ⁽¹⁾, Lucero Tenorio Miriam Elizabeth ⁽²⁾, Ramírez De la Cruz Alain David ⁽³⁾

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

mpasanza@espol.edu.ec ⁽¹⁾, mlucero@espol.edu.ec ⁽²⁾, aramirez@espol.edu.ec ⁽³⁾

Saavedra Mera Juan ⁽³⁾, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) ⁽³⁾, Ingeniero en Electricidad especialización Potencia ⁽³⁾, jsaavedra@hidronacion.org ⁽³⁾

Resumen

El presente trabajo es una aplicación de la filosofía de protección brindada por relés a la Subestación Eléctrica Puerto Santa Ana, en la cual se ha logrado coordinar y ajustar elementos de protección según los diseños de la Subestación y sus Alimentadoras.

Para lograr nuestro objetivo desarrollamos análisis de flujos de carga, cálculos de corto circuito, coordinación de las protecciones eléctricas, con la aplicación de programas computacionales y el uso de las Normas correspondientes.

Las hipótesis prácticas y teóricas expuestas fueron basadas en la experiencia de ingenieros eléctricos del área de distribución y en el análisis pertinente de las ecuaciones matemáticas del sistema.

Palabras Claves: Protecciones Eléctricas, Puerto Santa Ana, Estudio de Flujo de Carga, Estudio de Cortocircuito, T60.

Abstract

This paper is an application of the philosophy of electrical protection provided by relays to the electrical substation Puerto Santa Ana, which has managed to coordinate and adjust elements of protection according to designs of the substation and its feeders.

To achieve our goal we developed load flow analysis, short circuit calculations, coordination of electrical protection applying computer software and the use of the appropriate standards.

The practical and theoretical assumptions exposed were based on the experience in distribution of electrical engineers and on the analysis of the mathematical equations of the system.

Keywords: Electrical Protection, Puerto Santa Ana, Load Flow Study, Short Circuit Study, T60.

1. Introducción

El presente proyecto se permite realizar el estudio de coordinación de las protecciones eléctricas de la subestación "Puerto Santa Ana" (P.S.A.) mediante el manejo de métodos computarizados, la coordinación de protecciones se definen como el proceso para

determinar los ajustes en los dispositivos de protección, para una instalación eléctrica; dicha coordinación dependerá el buen o mal funcionamiento del sistema eléctrico.

El proyecto tiene objetivo principal analizar el sistema de protecciones con el que cuenta la

subestación, para ello se procede a realizar los estudios de flujo de carga para comprobar la demanda máxima y la demanda mínima.

Así mismo se realiza análisis de corto circuito y se determina las zonas del sistema en donde la falla puede resultar en depresión inaceptable de voltajes, y el ajuste de los equipos de protección, los cuales son determinados considerando el sistema bajo condiciones de falla.

El presente trabajo está relacionado con la coordinación de las protecciones. Es importante tener protección de respaldo, para evitar daños en el transformador o equipos conectados al sistema eléctrico, en caso de fallar la protección primaria.

2. Descripción de las Instalaciones

La Subestación de Distribución Puerto Santa Ana, está ubicada sobre la vía de salida del Túnel del Cerro Santa Ana, al noreste de Guayaquil, se encuentra delimitada por la Av. Morán de Buitrón que es a la vez la vía de acceso principal, la cual sirve como intercambiador de tránsito entre la zona norte y centro de la ciudad; también está limitada al norte por un terreno baldío, al sur por la Unidad Educativa José Domingo Santisteban y los estacionamientos del Puerto Santa Ana, al este por la construcción del edificio "Point" y al oeste por los túneles del acceso vehicular del cerro Santa Ana y el Instituto de Neurociencias de la Junta de Beneficencia de Guayaquil (anteriormente llamado Hospital Psiquiátrico Lorenzo Ponce). El terreno donde se encuentra asentada la subestación es de 1,200m², y es propiedad de la Empresa Eléctrica de Guayaquil.

La Subestación Puerto Santa Ana es alimentada por la Subestación de Transmisión Norte a nivel de 69 kV con conductor # 4/0 ACSR. Tiene un Transformador de potencia que reduce el voltaje de 69 kV a 13,8 kV, con capacidad de 18/24 MVA, refrigeración tipo OA/FA, conexión Δ/Y ; se encuentra protegido por el relé T-60 General Electric. Dentro de la Subestación, se encuentra el patio de 13,8 kV cuya configuración de conexión es de Barra Principal y Barra de Transferencia.

3. Estudios de Flujo de Carga

En el presente trabajo es necesario realizar un estudio de flujo de carga para varias condiciones las cuales se pueden presentar en el sistema de distribución en estudio. Para ello contamos con el software PowerWorld Simulator 15 Evaluation.

3.1 Criterios adoptados para el estudio

3.1.1 Flexibilidad operacional.

El sistema podrá funcionar alimentado por la Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil (E.E.P.G), mediante líneas de subtransmisión que se conectarán a la línea de Alta Tensión ubicada en la Av. Morán de Buitrón sin ninguna restricción.

3.1.2 Niveles de confiabilidad.

El sistema debe proveer la continuidad del servicio y la alimentación a las instalaciones aledañas como el edificio "Point" y edificios cercanos, Cerro Santa Ana, Cerro del Carmen, SOLCA, Instituto de Neurociencias, Cementerio General y parte de ciudadela Atarazana en forma prioritaria, ante la existencia de falla de un elemento del Sistema.

3.1.3 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.

3.1.4 Regulación de voltaje.

Los voltajes a nivel de barras del Sistema no deben exceder del 5% hacia arriba y 5% hacia abajo, ante cualquier contingencia operativa.

3.2 Análisis de casos

Se realizaron dos estudios para casos de carga máxima y carga mínima, en la actualidad se encuentra conectado un transformador y dos alimentadoras.

3.3 Datos del sistema

3.3.1 Datos del transformador de potencia

Marca	Siemens
Año fabricación	2011
Grupo de conexión	Dyn1
Número de fases	3
Mva (OA/FA) rise 55°	18/24
Imped. Z (%) base 18MVA	7.22
Voltaje KV (AT/BT) rise 55°	68,8/13,8

Tabla 1. Datos Del Transformador de Potencia

El transformador no tiene LTC. La impedancia a usar para el flujo de carga en base 100MVA, 69 Kv, del lado del generador, es 30,5%.

3.3.2 Datos de líneas y conductores.

Los datos de los conductores serán tomados para una temperatura ambiente de 25°C y el material es cobre (Cu). La alimentadora P.S.A.1 es subterránea con 768 m. de longitud y la alimentadora P.S.A.2 es subterránea y aérea con 9 km. de longitud.

3.3.3 Datos de barras de carga.

Se escogieron datos del mes de marzo del 21013 de las lecturas de carga proporcionadas por la E.E.P.G.

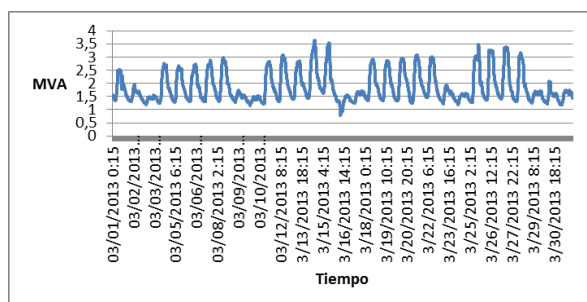


Figura 1. Potencia de las alimentadoras.

3.4 Resultados del flujo de carga.

Barra	V nominal(kV)	V (pu)	Ángulo
69 Kv	69	1	0°
13,8 Kv	13,8	0,997	-0,61°

Tabla 1. Voltajes de barra para carga máxima.

Barra	V nominal(kV)	V (pu)	Ángulo
69 Kv	69	1	0°
13,8 Kv	13,8	1	-0,134°

Tabla 2. Voltajes de barra para carga mínima.

Desde	Hasta	MVA	Carga (%)	Pérdidas (MVAR)
Barra 69 kV	Barra 13,8 kV	3,6399	20,2219	0,0404

Tabla 3. Carga de transformador para Máxima Generación.

Desde	Hasta	MVA	Carga (%)	Pérdidas (MVAR)
Barra 69 kV	Barra 13,8 kV	0,7793	4,3292	0,00185

Tabla 4. Carga de transformador para mínima generación.

4. Estudios de Corto Circuito

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.
- 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 Eléctrica Puerto Santa Ana se caracteriza por ser un sistema típicamente aterrizado el estudio de corto circuito considera los siguientes tipos de falla:

- Falla Trifásica a Tierra
- Falla de Línea a Tierra
- Falla de Línea a Línea
- Falla de dos Líneas a Tierra.

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

4.2. Datos del Sistema

El departamento de Estudios Eléctricos de la Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil, nos ha entregado los MVA de Corto Circuito y las Impedancias de Thevenin en la Barra de Interconexión a 69 kV, de la Subestación de Distribución Puerto Santa Ana tanto para máxima como para mínima generación. La información ha sido trasladada a la base de 100 MVA y 69 kV.

Tipo de Falla	Corriente de Falla p.u.	Ángulo	Corriente de Falla Amperios	MVA de Corto Circuito
LLL	6,379	-73,83	5338	638
LG	2,959	-79,69	2476	296
LL	5,525	-163,83	4623	552
LLG	1,922	98,54	1608	573

Tabla 6. Corrientes y MVA de Cortocircuito. Máxima Generación.

Tipo de Falla	Corriente de Falla p.u.	Ángulo	Corriente de Falla Amperios	MVA de Corto Circuito
LLL	5,420	-75,39	4535	542
LG	2,804	-79,93	2346	280
LL	4,694	-165,39	3928	469
LLG	1,888	98,49	1580	489

Tabla 7. Corrientes y MVA de Cortocircuito. Mínima Generación.

Tipo de Falla	Magnitud p.u.	Ángulo	R + jX [Ohmios]	X/R
ZQQ-1	0,156763	73,83	2,0782 + j7,1683	3,4492
ZQQ-0	0,702841	82,30	4,4806 + j33,1609	7,4009

Tabla 8. Impedancias Equivalentes máxima generación.

Tipo de Falla	Magnitud p.u.	Ángulo	R + jX [Ohmios]	X/R
ZQQ-1	0,184502	75,39	2,2158 + j8,5001	3,8361
ZQQ-0	0,70284	82,305	4,4806 + j33,1609	7,4001

Tabla 9. Impedancias Equivalentes mínima generación.

4.3. Resultados de los Estudios de Corto Circuito

Las corrientes de cortocircuito han sido calculadas considerando los criterios técnicos indicados en la sección 3.1. La falla Trifásica a tierra, Línea a tierra, dos Líneas a tierra y Línea a Línea; se aplica a cada barra del sistema.

Tipo Falla	69 kV		13,8 kV	
	Icc MAX[A]	Icc MIN[A]	Icc MAX[A]	Icc MIN[A]
LLL	5354,11	4537,94	9170,24	8617,9
LG	2478,29	2346,4	10313,3	9844,61
LL	4636,8	3929,98	7941,7	7463,35
LLG	1608,78	1579,89	11768,6	11468,4

Tabla 10. Corrientes de Falla en cada Barra para cada tipo de Falla.

En la Tabla 6 se muestra la máxima corriente de falla en cada barra, así mismo se muestra la corriente de interrupción del interruptor a nivel de 69 kV y 13,8 kV; regidos de acuerdo a las normas ANSI C37.04 [1], ANSI C37.06 [2], ANSI C37.09 [3] y ANSI C37.60 [4] respectivamente.

Barra No.	Nombre Barra	Voltaje [kV]	Corriente de falla max [A]	Capacidad de Interrupción [kA]
1	Barra 69 kV	69	5354,11	40
2	Barra 13,8 kV	13,8	11768,60	12

Tabla 11. Capacidad de los Interruptores valores mínimos.

Las corrientes de cortocircuito han sido calculadas considerando los estándares de las Normas IEEE aplicables para el cálculo de falla para voltajes medio y alto. (Standard IEEE Std C37.010-1979 [13], IEEE Std C37.5-1979, IEEE Std 141-1993 [14], IEEE Std 241-1990 [15] y IEEE Std 242-1986 [16])

5. Protección de la Subestación del Transformador de Potencia.

El objetivo de este capítulo es realizar el ajuste del *T60 Transformer Management Relay*, un relé digital perteneciente a la General Electric PowerMagnament para la protección diferencial del Transformador de Potencia de 18/24 MVA marca SIEMENS de la Subestación Eléctrica Puerto Santa Ana.

5.1. Esquemas de Protecciones

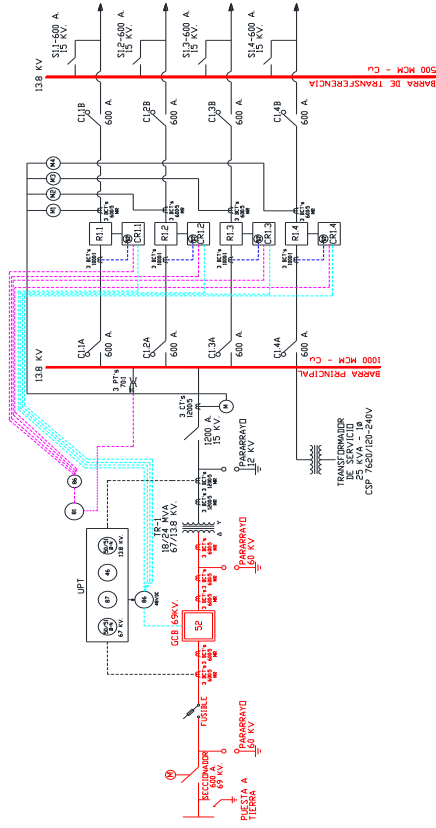


Figura 2. Esquema de Protecciones de la Subestación de Distribución.

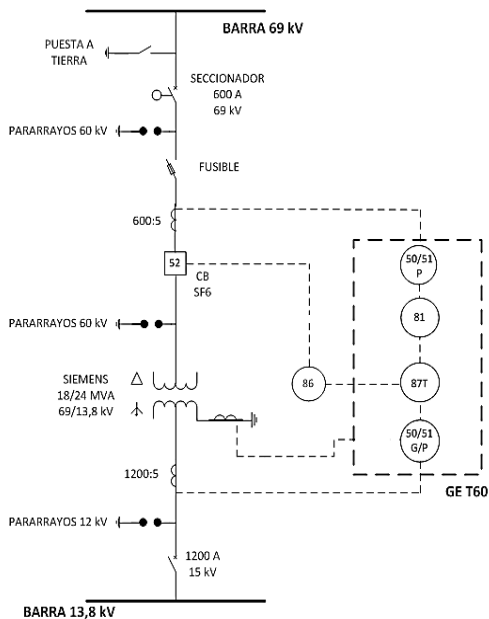


Figura 3. Esquema de Protecciones del Transformador de Potencia.

5.2. Protección del Transformador de Potencia

5.2.1. Protección Diferencial

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

- Protección diferencial Porcentual (87T)
- Sobrecorriente de tiempo inverso (51)
- Sobrecorriente Instantáneo (50)
- Protección contra Frecuencia anormal (81):
Sobrefrecuencia (81O) y Baja frecuencia (81U)

El elemento diferencial porcentual del T60 está basado en una característica de punto de quiebre dual configurable. El propósito de esta característica preajustada es el de definir la velocidad de la corriente diferencial de restricción para las corrientes de los devanados del transformador durante las diferentes condiciones de carga y que pueda distinguir entre fallas dentro y fuera de la zona de protección.

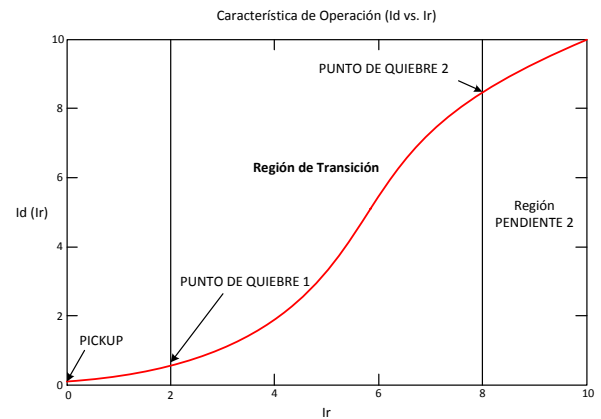


Figura 4. Curva característica de la Protección Diferencial Porcentual del T60.

CONFIGURACIÓN DEL TRANSFORMADOR		
	ALTA TENSIÓN	BAJA TENSIÓN
MVA	24	
Voltaje Nominal (kV)	69	13,8
Conexión	Delta	Estrella (aterrizado)
Ángulo de desfaseamiento	0	-30°
TRANSFORMADORES DE CORRIENTE		
Primario del CT [A]	600	1200
Secundario del CT [A]	5	5
I nominal del	200,8175	1004,0874

primario [A]		
I nominal del secundario [A]	4,6021	3,7653
AJUSTE		
Mínimo pick-up	0,25 p.u.	
Pendiente 1	23%	
Punto de quiebre 1	2 p.u.	
Punto de quiebre 2	8 p.u.	
Pendiente 2	98%	

Tabla 12. Resumen de Ajuste del T60.

5.2.2. Protección de Sobrecorriente

Están disponibles funciones de Sobrecorriente Temporizada e Instantánea para corrientes de fase, tierra y neutro. El equipo incorpora una variedad de curvas de tiempo, las cuales se muestran en la Tabla 13.

Tipos de Curva de Sobrecorriente			
IEEE	IEC	GE Tipo IAC	OTRAS
IEEE Extremadamente Inversa	IEC Curva A (BS142)	IAC Extremadamente Inversa	I^2t
IEEE Muy Inversa	IEC Curva B (BS142)	IAC Muy Inversa	FlexCurves, A, B, C, y D
IEEE Moderadamente Inversa	IEC Curva C (BS142)	IAC Inversa	Curvas de reconectador
	IEC Corta Inversa	IAC Corta Inversa	Tiempo definido

Tabla 13. Tipos de Curvas de Sobrecorriente.

5.2.3. Protección de Sobre y Baja Frecuencia

Siguiendo los estándares de la Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil se encuentra ajustado hasta el 4to paso de frecuencia, esta función del relé protege a equipos contra cambios en la frecuencia del voltaje, con un nivel de precisión de +/- 0,01 Hz. Los ajustes de disparos de frecuencia y retardos de tiempo son programados en relé.

Ajuste función 81O		
Frecuencia 81O	60,5 Hz	
Ajuste función 81U		
Paso	Frecuencia	Retardo de tiempo
1	59,4	12 ciclos
2	59,2	12 ciclos
3	59,1	12 ciclos
4	59	12 ciclos

Tabla 14. Ajuste de la Protección de sobre y baja frecuencia.

6. Coordinación de las Protecciones

En la figura se muestra el resultado de la coordinación de las protecciones de la Subestación Puerto Santa Ana, esto corresponde para ambas alimentadoras conectadas.

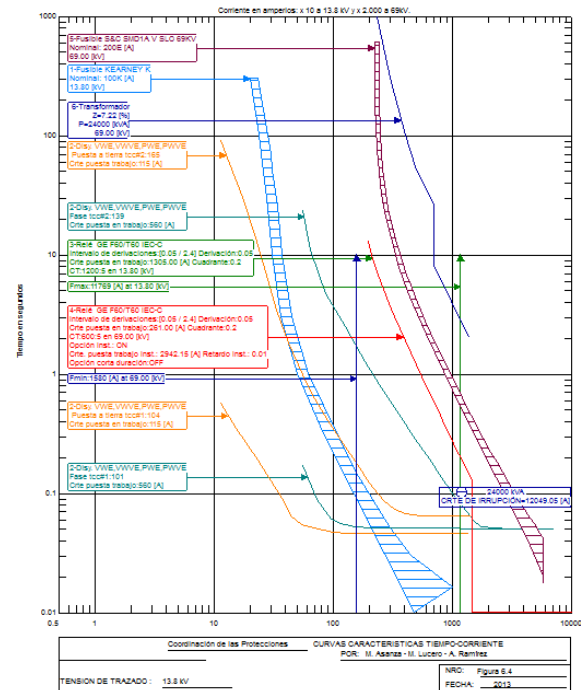


Figura 5. Curvas de protección de alimentadoras de S/E Puerto Santa Ana.

Las siguientes tablas muestran, en forma resumida, los ajustes de las protecciones de sobrecorriente y reconectadores.

	51P-1	51P-2	50P-1	51N-2
Voltaje (Kv)	69	13,8	69	13,8
Relación CT	600:5	1200:5	600:5	1200:5
Factor CT	120	240	120	240
Factor	1,3	1,3	1,25	0,2
I aj. sec	2,2	5,4	24,6	1,5
I aj. prim	261	1305	2942	180
Punto de coordinación	0,25	0,25	0,01	-
Tipo de Curva	E.I.	E.I.	Inst.	E.I.
TD Selección	0,2	0,2	-	0,05

Tabla 14. Resumen de ajustes de protecciones contra sobrecorriente

	Reconector			
	R. Fase	L. Fase	R. Tierra	L. Tierra
Voltaje Kv)	13,8	13,8	13,8	13,8
Factor	1	1	1	1
I aj. prim	560	560	115	115
Punto de coordinación	0,05	0,08	0,04	0,06
Tipo de Curva	101	139	104	165
TD Selección	1	1	1	1

Tabla 15. Resumen de ajustes los reconectores.

7. Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

1. La Subestación Eléctrica Puerto Santa Ana mantiene el estándar que poseen todas las Subestaciones Eléctricas que pertenecen al dominio de la Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil.
2. Además la planificación indica que el objetivo de esta Subestación es aliviar carga de la Subestación Atarazana y alimentar a carga muy importante debido al desarrollo, crecimiento poblacional y comercial del sector de Puerto Santa Ana.
3. Con el uso del programa computacional PowerWorld Simulator 15 Evaluation se realizó el análisis de flujo de carga de la subestación para casos de máxima y mínima generación, del cual se concluye que los niveles de voltaje en las barras se encuentran en el rango permitido del $\pm 5\%$ del voltaje nominal, por lo que el ajuste de TAP del Transformador se debe mantener en posición 68,8 kV.
4. El transformador de potencia se encuentra al 20,22% de su capacidad nominal en OA para carga máxima, y al 4,33% para carga mínima, no se está sobrecargado y tiene capacidad disponible para poder dar servicio a cargas futuras indicadas anteriormente.
5. Los resultados de las simulaciones del análisis de cortocircuito, son similares a los valores entregados por la Empresa Eléctrica

Pública de Guayaquil (E.E.P.G.). Por medio de este estudio se obtuvieron los valores mínimos de las capacidades de interrupción para los interruptores de la Subestación Eléctrica tanto a nivel de 69 kV como 13,8 kV; y se comprueba su correcto dimensionamiento, ya que la capacidad de interrupción del interruptor es mayor que la corriente de falla.

6. De los resultados de los estudios de flujo de carga y cortocircuito, se realizan los cálculos y análisis para los estudios de coordinación y cálculos de ajustes para los diferentes elementos de protección disponibles para la subestación Puerto Santa Ana y su red de distribución.
7. Tabla de resumen de corrientes máximas y mínimas de falla en barras de 69 kV y 13,8 kV.

Voltaje de Barra	Máxima	Mínima
69 kV	5354,11 A	1579,89 A
13,8 kV	11768,6 A	7463,35 A

Tabla 16. Máximas y Mínimas corrientes de falla en cada Barra.

Las corrientes de falla utilizadas a para el análisis, ajuste y coordinación de las protecciones eléctricas de la Subestación Puerto Santa Ana, se presentan en la Tabla 6.5

8. Para que los cálculos de los ajustes de los elementos de protección cumplan con los criterios de protección y de coordinación, se tomaron en cuenta las recomendaciones que se encuentran en la guía para protección de transformadores de potencia IEEE Std C37.91-2008 [6].
9. De las Curvas de protección de alimentadoras de S/E Puerto Santa Ana (Figura 6.2), vemos que para corrientes de falla máximas, no es posible una actuación correcta y coordinada entre reconector-fusible, puesto que el Fusible de la troncal actúa antes que el Reconector en su curva rápida, deja sin servicio a las cargas conectadas a la Alimentadora.
10. Se ajusta la protección diferencial (87T) del relé General Electric T60 para evitar saturación del TC debido a: componentes DC de corriente de falla y/o magnetismo

residual, y a la componente AC de la corriente. Garantizando que está función proteja al transformador de potencia en caso de falla interna y cambios de taps, obedeciendo su respectiva zona de protección.

11. Para los ajustes de las protecciones contra sobrecorrientes, de tiempo definido e instantáneo (51P, 51N y 50P) se usan las curvas extremadamente inversa IEC. Se ajustan para que en el menor tiempo posible, cumpliendo con los criterios de protección y coordinación, despejen la máxima corriente de falla y evitar daños en los equipos y personal que labora en la S/E.
12. Son de gran utilidad, para ahorro económico y de tiempo, el uso de programas computacionales aplicados a los estudios de protecciones de sistemas eléctricos existentes o en aquellos que se proyectan construir, para notar los posibles eventos a los cuales se podría estar enfrentando y así realizar correctos dimensionamientos, pedidos de elementos y equipos, y los correctos ajustes para tener una operación adecuada que cumpla criterios de seguridad, confiabilidad y economía.

7.2 Recomendaciones

1. Debido al desarrollo tanto industrial, comercial y residencial que se prevé a futuro, en la Subestación Eléctrica Puerto Santa Ana, la E.E.P.G. ha planificado instalar un Transformador de Poder en paralelo y con características similares al actual, por tal motivo, recomendamos que se emplee en esta Subestación un esquema denominado Barra Partida a nivel de 69 KV. Con la cual se pretende mejorar la eficacia en el servicio de energía eléctrica, seguridad y flexibilidad de operación y mantenimiento. Por lo general una configuración de este tipo implica un mayor costo en la implementación, así como nuevos estudios eléctricos; sin embargo son mayores las ventajas que las desventajas al usar este tipo de esquemas. Y debido a la magnitud e importancia de los usuarios que se abastecerán en esta zona no está de más escatimar gastos.
2. La protección brindada por el fusible de potencia 200E del lado de 69 KV se interpreta como una protección redundante,

ya que se cuenta con el GCB. Ante esto, no se recomienda eliminar dicha protección, más bien, se debería utilizar ésta como un puente bypass entre el seccionador tripolar de operación en grupo y el Transformador de Potencia en caso de avería o mantenimiento del GCB y evitar paralización en la alimentación eléctrica.

3. Debido al análisis de cortocircuito realizado, se nota que interviene una corriente de cortocircuito de magnitud alta, la cual se debe considerar en la operación de las protecciones, y debido a que no se recomienda hacer cambios en la red, ni en el sistema, y a que no hay algún otro fusible para implementar en la troncal y así evitar el problema de selectividad en caso de falla, recomendamos para la alimentadora PSA2 hacer un puente en el fusible 100K de la troncal, ya que no cumple con los criterios de coordinación reconector-fusible, y en caso de falla el fusible operaría dejando de alimentar carga importante.

8. Agradecimientos

Extendemos nuestra gratitud al M.Sc. Juan Saavedra, nuestro director de tesis, por su colaboración y ayuda para la realización de este trabajo. Y a la Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil por proporcionarnos la información y datos solicitados para nuestro análisis.

9. Referencias

- [1] IEEE STD C37.04-1999, IEEE Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers.
- [2] ANSI C37.06-2000 - American National Standard AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis-Preferred Ratings and Related Required Capabilities.
- [3] ANSI C37.09-1999 - IEEE Standard Test Procedure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis.
- [4] ANSI C37.60-1981 - IEEE Standard Requirements for Overhead, Pad Mounted, Dry Vault, and Submersible Automatic Circuit Reclosers and Fault Interrupters for AC Systems.
- [5] GE Industrial System. T60 relé para protección de transformadores. Revisión T60:3.3x.

- [6] IEEE Std. C37.91.2008, IEEE GUIDE FOR PROTECTING POWER TRANSFORMERS.
- [7] INTERNATIONAL STANDARD IEC 60044-8, ELECTRONIC CURRENT TRANSFORMERS.
- [8] ANSI/IEEE C57.110-2008, Recommended Practice for Establishing Liquid-Filled and Dry-Type Power and Distribution Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents.
- [9] IEEE Std.C57.12.2000, IEEE STANDARD GENERAL REQUIREMENTS FOR LIQUID-IMMERSED DISTRIBUTION, POWER, AND REGULATING TRANSFORMERS.
- [10] T. A. SHORT, ELECTRIC POWER DISTRIBUTION HANDBOOK, CRC PRESS 2003.
- [11] J. LEWIS BLACKBURN, PROTECTIVE RELAYING: PRINCIPLES AND APPLICATIONS, TERCERA EDICIÓN.CAPITULO 6
- [12] COOPER Power System. RECLOSERS.Types VWE, VWVE27, VWVE38X, WE, WVE27, and WVE38X; Three-Phase; Electronically Controlled.
- [13] Std. IEEE C37.010-1999 - IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis.
- [14] IEEE Std 141-1993 - IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants.
- [15] IEEE Std. 241-1990 - IEEE Recommended Practice for Electric Power Systems in Commercial Buildings
- [16] IEEE Std. 242-1986 - IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems.
- [17] IEEE Std. C57.13-2008 - IEEE Standard Requirements for Instrument Transformers
- [19] General Electric, T60diffsimulator, <http://www.gedigitalenergy.com/products/suppor/t60/t60diffsimulator.xls>

Páginas web consultadas

- [18] General Electric, Multilin T60 Transformer Protection System, <http://www.gedigitalenergy.com/products/brochures/T60.pdf>