

Coordinación De Las Protecciones De La Subestación De Distribución Del Sistema Guayaquil.

Luis Randy Escobar Tola, Juan Carlos Herrera Calvache, Carlos Andrés Zambrano Miño
 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
 luiset88@gmail.com, jherrera.fiec@gmail.com, carloscazm@hotmail.com
 Juan Saavedra, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ingeniero Eléctrico Especialidad Potencia,
 juan.saavedra@celec.gob.ec

Resumen – El presente trabajo se desarrolla en torno a la coordinación de protecciones de la Subestación de Distribución de Energía Eléctrica Samanes, que presenta un transformador de 69/13.8 KV, utilizando métodos computarizados que nos permiten una mayor agilidad del proceso y facilitan un reajuste en caso de cambios futuros del sistema eléctrico de distribución.

Se recalca que debido a que la subestación a estudiarse se encuentra en funcionamiento por lo tanto sus equipos de protección ya han sido ajustados. Sin embargo, el presente trabajo permite aplicarlos conceptos que se requieren para la coordinación con condiciones reales de trabajo, otorgándonos una base fundamental de conocimiento para futuras coordinaciones de protecciones eléctricas.

En nuestro trabajo empezamos describiendo todos los componentes que presenta la subestación Samanes, para luego realizar los respectivos estudios de flujo de carga y corto circuito lo cual nos permite mediante un análisis de coordinación de protecciones proponer un sistema adecuado de protecciones mediante el uso de herramientas computarizadas modernas con finalidad de aumentar eficiencia, la selectividad y continuidad de servicio del sistema, que son ítems de suma importancia, necesarios para el correcto funcionamiento de cualquier sistema eléctrico.

Para nuestro estudio del caso base los ajustes se realizaron en función de la máxima corriente de falla.

Palabras Claves: Flujo de Carga, Cortocircuito, Corrientes de Falla.

I. INTRODUCCIÓN

Una buena coordinación de los dispositivos de protección eléctrica garantiza que, en caso de una falla, ocurra un rápido despeje y que la zona afectada sea mínima. También mencionada protección implica, que el elemento de protección opere selectivamente y ofrezca respaldo a otro de una zona adyacente. Siempre el objetivo fundamental será de proteger al transformador de la subestación que provee el servicio eléctrico, debido a que es el elemento más importante y costoso a nivel de distribución eléctrica.

En el presente trabajo hemos realizado la coordinación de las protecciones mediante la utilización de métodos computarizados de la subestación de distribución “Samanes”, siendo una típica subestación de distribución eléctrica del sistema de la empresa eléctrica de Guayaquil, presentando de esta manera una referencia en lo que respecta a la coordinación de las diferentes subestaciones de distribución eléctrica presentes en el mencionado sistema.

Durante la planificación y/o construcción de una subestación es necesario realizar el análisis del ajuste de los dispositivos de protección cumpliendo las normas establecidas, y además diseñar el sistema de protección adaptándose a los equipos que en cada caso estén disponibles y las externalidades que muchas veces dificultan el correcto trabajo del ingeniero encargado de la coordinación de las protecciones de la subestación.

En el Capítulo I, se describen los elementos físicos de la subestación como son: equipos y dispositivos de protección existentes, que conforman la Subestación Samanes, de acuerdo a las especificaciones técnicas establecida por el fabricante y proporcionadas por la Empresa Eléctrica de Guayaquil.

En el Capítulo II, se estudia y analiza el Flujo de Carga en Estado Estable que mantiene el sistema tanto para carga máxima como para carga mínima, determinando los voltajes en las barras y las corrientes que fluyen en las diferentes alimentadoras y ramales. Este análisis se realizó utilizando los datos proporcionados por la Empresa Eléctrica de Guayaquil.

En el Capítulo III, se realiza el Estudio de Cortocircuito para de esta manera determinar los niveles de corriente y el impacto que provocan estos a los diferentes elementos de la subestación Samanes y en base a estos datos de falla realizar los ajustes de las protecciones para una operación óptima.

En el Capítulo IV, se describen los equipos de protección que presenta la subestación Samanes así como sus ajustes y su funcionamiento como el relé diferencial 87 y otros relés importantes que forman parte del sistema de protección. En este capítulo se analiza el Esquema de Protección de la Subestación Samanes.

En el Capítulo V, se aplican los criterios de protección como son: Sensibilidad, selectividad y rapidez. Se describe las

diferentes curvas de cada elemento de protección coordinadas entre sí para una correcta operación de las protecciones.



Fig 1 Transformador de Potencia de la S/E Samanes.

II. DESARROLLO

1. Descripción de las Instalaciones

La Subestación de Distribución eléctrica Samanes está ubicada en el norte de la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas al pie de la avenida Francisco de Orellana a la altura de la ciudadela los Rosales.

La Subestación de Distribución eléctrica Samanes es alimentada por la Empresa Eléctrica de Guayaquil E.P., por medio de una línea de 69KV con calibre 477MCM, 26/7ACSR y con una capacidad nominal de transmisión aproximada de 78 MVA (655 A) Anexo1. En el lado de Alta tensión se encuentra un seccionador de aire motorizado, luego está conectado con un disyuntor de gas SF6 (GSB) de 69KV. Luego del disyuntor se ubica un transformador marca ABB.

En la ciudad de Guayaquil en su gran mayoría las subestaciones incluyendo la Subestación Samanes tienen una configuración de barra principal y de transferencia. En la barra de 13,8KV de esta subestación se encuentran 4 alimentadoras como se muestra en la figura 1.

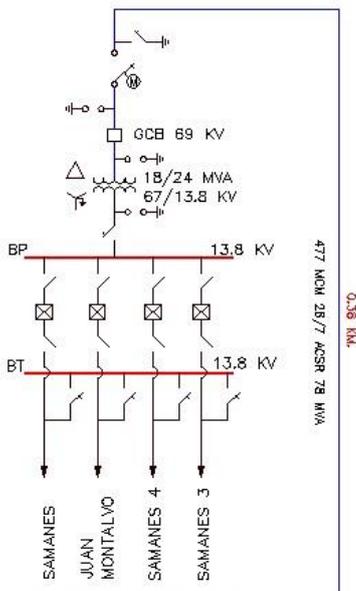


Fig. 2 Esquema general de subestación Carolina e interconexiones asociadas

Los elementos de la subestación se encuentran protegidos por seccionador de aire con cuchillas de puesta a tierra, fusibles, interruptor en gas SF6, pararrayos y sistemas de relés de protección.

2. Estudio de Flujo de Carga

El análisis del flujo de carga nos permite conocer a través de la simulación, utilizando el programa PowerWorld, como se comportan en estado estable, bajo condiciones normales de operación y bajo situaciones de fallas, los diferentes equipos instalados en el sistema bajo estudio; también permite identificar los posibles problemas que pueden ocurrir durante el diseño, la selección y operación de equipos.

El análisis del flujo de potencia, considera el límite de variación del voltaje en un $\pm 5\%$, aceptado por las normas de ANSI/ IEEE C84.1, IEEE Std.141.

Para el desarrollo del estudio de coordinación cabe recalcar que se trata de un sistema eléctrico de distribución y por sus características propias dichos sistemas son desbalanceados es decir presentan corrientes desbalanceadas, por lo que estaríamos ante un sistema trifásico desbalanceado.

El Diagrama Unifilar de la Subestación Samanes se muestra a continuación.

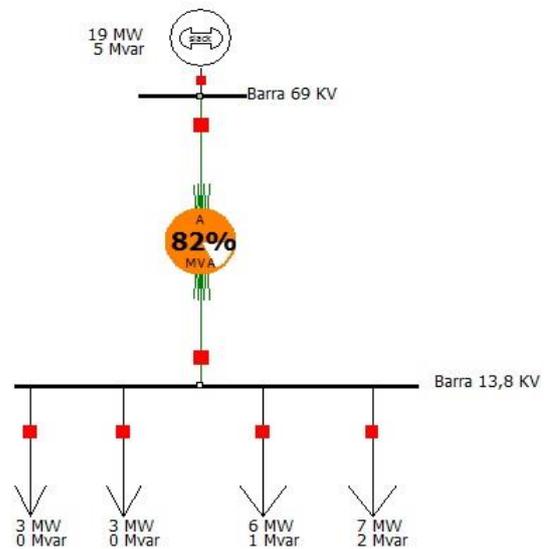


Fig. 3. Diagrama Unifilar de la Subestación Carolina

2.1. Criterios adoptados para el Estudio

2.1.1. Flexibilidad Operacional

El sistema de distribución que pertenece a la Subestación Samanes, funcionará alimentado por la Empresa Eléctrica de Guayaquil (EEG EP) sin ninguna restricción.

2.1.2. Niveles de confiabilidad

El sistema debe proveer la continuidad del servicio y la alimentación al sector de todas las etapas de Samanes y La Cooperativa Juan Montalvo en forma prioritaria, ante la existencia de falla de un elemento del Sistema.

2.1.3. Niveles de sobrecarga

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

2.1.4. Regulación de voltaje

Los voltajes a nivel de barras de 69 KV y 13,8 KV no deben exceder del 2,5% hacia arriba y 2,5% hacia abajo, ante cualquier contingencia operativa.

2.2. Datos del Sistema

2.2.1. Datos del Transformador

TABLA I
Datos del Transformador de Poder

Transformador de Potencia de la S/E	
Marca	ABB
Voltaje	67 / 13,8 KV
Serie	740031-1
Impedancia	7%
Capacidad	18 / 24 MVA
Corrientes AT	155,1/206.8 Amp
Corrientes BT	753/1004,1 Amp
Enfriamiento	OA / FA
Conexión	Dyn1
Frecuencia	60 Hz
Norma	ANSI C-57

2.2.2. Datos de las Líneas

TABLA II
Datos de las Líneas

Alimentadora	Calibre del Conductor AWG	Ternas	Capacidad
Samanes	336 MCM ACSR 26/7	1	12 MVA
Juan Montalvo	336 MCM ACSR26/7	1	12 MVA
Samanes 4	336 MCM ACSR26/7	1	12 MVA
Samanes 3	336 MCM ACSR26/7	1	12 MVA

2.3. Resultados del Estudio de Flujo de Carga

En base a la simulación realizada logramos obtener los siguientes datos:

2.3.1. Voltaje en las Barras

TABLA III
Niveles de Voltaje en las Barras en Mínima Carga.

Barra	Voltaje nominal	Voltaje p.u	Angulo	MW	Mvar
69 KV	69	1	0	2,19	0,4
13,8 KV	13,8	0,998	-0,59	2,19	0,38

TABLA IV
Niveles de Voltaje en las Barras en Máxima Carga.

Barra	Voltaje nominal	Voltaje p.u	Angulo	MW	Mvar
69 KV	69	1	0	19,2	5
13,8 KV	13,8	0,9907	-5,25	19,2	3,16

2.3.2. Consumo en las Barras

TABLA V
Consumo en las Barras Máxima Carga

Alimentadora	Voltaje	ID	Estado	MW	MVAR	MVA
Samanes	13,8 KV	1	Closed	2,81	0,1	2,81
Juan Montalvo	13,8 KV	2	Closed	2,89	0,22	2,9
Samanes4	13,8 KV	3	Closed	6,1	0,98	6,18
Samanes 3	13,8 KV	4	Closed	7,43	1,86	7,65

TABLA VI
Consumo en las Barras Mínima Carga

Alimentadora	Voltaje	ID	Status	MW	Mvar	MVA
Samanes	13,8 KV	1	Closed	0,32	0,05	0,32
Juan Montalvo	13,8 KV	2	Closed	0,77	0,13	0,78
Samanes4	13,8 KV	3	Closed	0,92	0,15	0,93
Samanes 3	13,8 KV	4	Closed	0,18	0,06	0,19

TABLA VII
Carga del Transformador

	CAPACIDADES TRANSMITIDAS EN LINEAS				
	De Barra	A Barra	% MVA	Limit MVA	MVA
MÁXIMA CARGA	69 KV	13,8 KV	82%	24	19,7
MÍNIMA CARGA	69 KV	13,8 KV	9%	24	2,16

3. Estudio de Cortocircuito

3.1. Alcance de los Estudios de Cortocircuito

Considerando que el Sistema de Distribución de la Subestación Samanes se caracteriza por ser un sistema típicamente aterrizado, los estudios de corto circuito enfatiza los cálculos de fallas a tierra pero cabe mencionar que se realizaron todos los tipos de fallas que se pueden presentar los siguientes tipos de falla:

- Falla Trifásica.
- Falla de línea a tierra.
- Falla de línea a línea.
- Falla de dos líneas a tierra

La falla trifásica es a menudo, para este tipo de sistema, la más severa de todas, por ello es usual simular este tipo de falla 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.

3.2. 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 Impedancias Equivalentes

TABLA VIII
Impedancia equivalente Máxima Generación

Secuencia	Magnitud p.u.	Voltaje	R + jX Ohmios [Ω]	X/R
Positiva Negativa	0,220039	69 KV	2,4979 +j10,1739	4,0730
Cero	0,918086	69 KV	5,5281 +j43,3591	7,8434

TABLA IX
Impedancia equivalente Mínima Generación

Secuencia	Magnitud p.u.	Voltaje	R + jX Ohmios [Ω]	X/R
Positiva Negativa	0,233423	69 KV	2,5596 +j10,8145	4,2250
Cero	0,918086	69 KV	5,5281 +j43,3591	7,8434

3.4 Resultados del Estudio de Cortocircuito

TABLA X
Corrientes de Falla Mínima y Máxima Generación Barra 13.8KV

Tipo de falla	Minima generación			Máxima generación		
	Amperios	p.u.	Angulo	Amperios	p.u.	Angulo
Línea a tierra	5072,32	1,21	-84,92	5144,870	1,23	-85,99
Trifásica	7031,47	1,68	-84,55	7327,64	1,75	-82,66
Dos líneas a tierra	3966,94	0,95	-94,87	3988,50	0,96	92,21
Línea a línea	6089,46	1,45	-174,55	6345,96	1,52	-172,66

TABLA XI
Corrientes de Falla Máxima Generación Barra 69KV

Tipo de falla	MVA	Ia [kA]	Ia [Θ]	Ib [kA]	Ib [Θ]	Ic [kA]	Ic [Θ]	In [kA]	In [Θ]
LLL	454	3,803	-76,20	3,80	163,79	3,803	43,794	0	0
LG	221	1,851	-80,61	0	0	0	0	1,85	-80
LL	394	0	13,43	3,29	-166,20	3,293	13,794	0	0
LLG	408	0	-8,557	3,28	-176,85	3,41	24,059	1,22	97

TABLA XII
Corrientes de Falla Mínima Generación Barra 69KV

Tipo de falla	Potencia de falla [MVA]	Ia [kA]	Ia [Θ]	Ib [kA]	Ib [Θ]	Ic [kA]	Ic [Θ]	In [kA]	In [Θ]
LLL	428	3,585	-76,68	3,585	163,31	3,58	43,316	0	0
LG	217	1,815	-80,69	0	0	0	0	1,815	-80,69
LL	371	0	0	3,104	-166,68	3,10	13,31	0	0
LLG	385	0	0	3,107	-177,89	3,21	24,13	1,214	97,94

3.5 MVA de Cortocircuito

TABLA XIII
MVA de Cortocircuito Máxima Generación, 13,8KV

TIPO DE FALLA	Potencia de falla [MVA]
LLL	175,147458
LG	122,9742321
LL	151,683047
LLG	94,61725908

TABLA XIV
MVA de Cortocircuito Mínima Generación, 13,8KV

TIPO DE FALLA	Potencia de falla [MVA]
LLL	168,068313
LG	94,8189945
LL	145,552107
LLG	94,8189945

4. Protecciones de la Subestación de Distribución.

4.1. Esquema de Protecciones.

La subestación samanes presenta el siguiente esquema de protecciones:

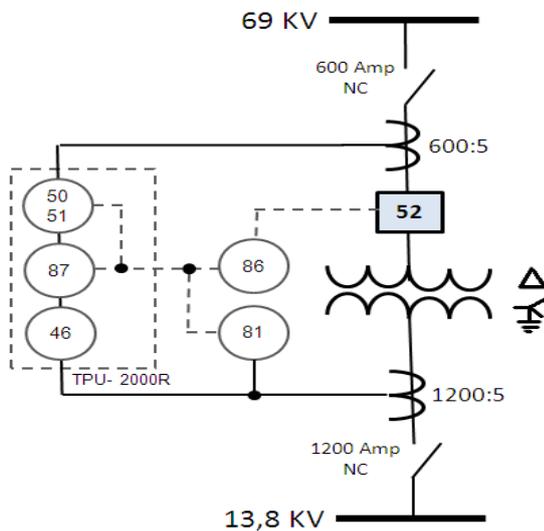


Fig. 4 Esquemas de Protección de la red de Distribución.

4.2 Ajuste de las Protecciones

La información básica para el ajuste de las protecciones proviene de los estudios de flujo de carga, cortocircuito y los esquemas de protección indicados en la sección anterior.

4.2.1 Ajuste Transformador de Potencia

La protección del Transformador se la realiza utilizando el relé TPU 2000R marca ABB el cual es un relé digital orientado para la Administración y protección de transformadores. El TPU 2000R que trabaja como un relé de diferencial (87) Además el TPU 2000R también es usado con la función de un relé de Sobre corriente Instantánea (50) y un relé de Sobre corriente Temporizada (51).

El TPU2000R tiene restricción armónica, e impide la operación con irrupción o flujo magnetizante y sobreexcitación.

4.2.2 Diagrama de conexiones.

El TPU 2000R se conecta de la forma como se indica en el diagrama de la fig. 5, ya que internamente se realiza la compensación de los desfases entre los primarios y secundarios del transformador.

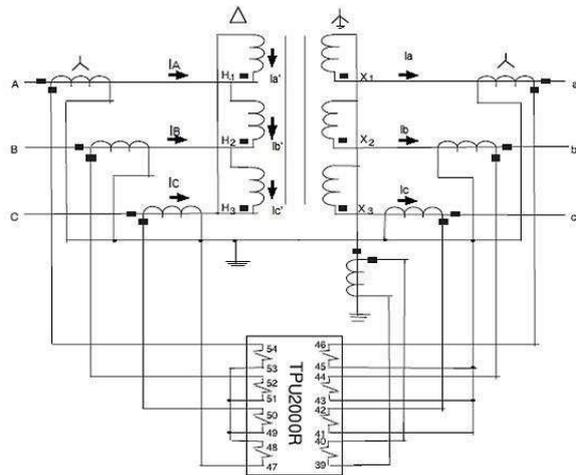


Fig. 5 Diagrama de conexiones del TPU 2000R

4.2.2. Ajuste de la función 87T de Relé TPU-2000R.

$$I_h = \frac{S}{\sqrt{3} V_h} = \frac{24000}{\sqrt{3} * 69} = 200,817 \quad I_{hs} = \frac{200,817}{\frac{600}{5}} = 1,6735A$$

$$I_l = \frac{S}{\sqrt{3} V_l} = \frac{24000}{\sqrt{3} * 13,8} = 1004,87 \quad I_{ls} = \frac{1004,087}{\frac{1200}{5}} = 4,1836A$$

Corriente de Falla en los terminales del secundario del TC

$$I_{hf} = 29,87 \text{ Amp}$$

$$I_{lf} = 30,52 \text{ Amp}$$

Selección del TAP

$$I_{hr} = I_{lr} * f_{ac} = 1.6735 * 1 = 1,6735 \text{ A}$$

$$I_{lr} = I_{lr} * f_{ac} = 4.1836 * \sqrt{3} = 7,2464 \text{ A}$$

TAP Th = 2.

TAP TI = 8,7

Mismatch

El error producido por el desacoplamiento de los TC es:

$$\%M = 100 * \frac{I_{hr} - T_{hr}}{S} = 100 * \frac{1.6735 - 2}{7.2464 * 8.7} = 100 * \frac{0.2309 - 0.22989}{0.22989} = 0,46\%$$

Errores para la selección de la curva de restricción

Mismatch:	0,46%
Error de los CT	10%
Cambiador de Tap	10%
Total	20,46%

El error producido por la Corriente Inrush del transformador no se la considera, ya que el Relé TPU 2000R brinda la facilidad de detectar esta corriente e impedir que el relé opere.

El relé compara las armónicas presente en la corriente y al detectar que la segunda y tercera armónica es mayor en cierta proporción a la corriente fundamental da por entendido que se trata de una corriente de inrush impidiendo de esta forma una operación incorrecta del Relé.

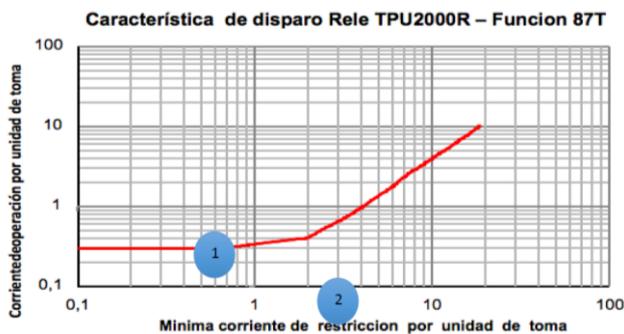


Fig. 6. Curva característica de disparo del Relé TPU 2000R, 87T.

4.2.3. Protección De Corrientes De Desbalance (46).

La protección de corrientes desbalanceadas ayuda a obtener mayor sensibilidad en la protección cuando hay corrientes de falla de fase.

La función 46 observa solo la magnitud de la corriente de secuencia negativa del sistema y operara para el 58% de la corriente una falla de línea a línea. Para ajustar la función 46 del relé.

4.2.4. Ajuste del Relé de frecuencia 81:

Las variaciones de frecuencia en un sistema eléctrico pueden ocasionar muchos daños en los equipos y el correcto funcionamiento que una empresa o industria.

Cuando la frecuencia baja más de lo normal cambia los valores constantes de velocidad en motores, la corriente en las bobinas sube y la corriente en condensadores baja considerablemente.

Cuando la frecuencia sube más de lo normal cambia los valores constantes de velocidad en motores de forma acelerada, poniendo en peligro el proceso que desempeña, así como la posibilidad de daños del devanado de su bobina. De igual forma la corriente en los condensadores sube y puede hacerlos estallar.

Estos relés usan tecnología de estado sólido y técnicas de conteo digital para proveer mediciones de frecuencia precisas.

Tomando en cuenta las recomendaciones de la norma IEEE Std. 1547-2003. Se ha ajustado el relé 81 de las Subestación Samanes de tal manera que:

- El relé 81U está fijado a 57 Hz con un tiempo de retardo de 0.16 s. (10 ciclos).
- El relé 81O está fijado a 60.5 Hz con un tiempo de retardo de 0.16 s. (10 ciclos).

4.2.4. Ajuste del 51P.

Corriente Nominal a 69KV: 200,8175amp

$$I_{op} = 1,3 * I_h = 261,06amp$$

TAP: 2,2

Corriente Nominal a 13,8KV: 1004,08amp

$$I_{op} = 1,3 * I_h = 1305,31amp$$

TAP: 5,4

Secundario del TC

$$I_{hs} = \frac{261,06amp}{600/5} = 2,17amp$$

Secundario del TC

$$I_{hs} = \frac{1305,31amp}{1200/5} = 5,44amp$$

4.2.5. Ajuste del 50P.

Su función es similar a la protección de sobre corriente de tiempo inverso de fase, ya que utiliza los parámetros de corriente y tiempo.

La respuesta de esta protección es instantánea ante magnitudes de corrientes elevadas, la función 50P opera cuando el nivel de cualquier corriente de fase excede el nivel de operación.

4.2.6. Protección De Sobre Corrientes De Tiempo Inverso A Tierra 51N.

En el análisis de la selección del ajuste del relé de sobrecorriente de tierra se puede elegir un TAP de valor inferior a las corrientes normales de carga, debido a que su alimentación proviene de las corrientes de secuencia cero, las cuales en condiciones de operación normal tienen un valor teórico de cero.

Es recomendado seguir la norma que nos indica que el relé se lo puede ajustar entre el 20% y el 40% de la corriente de operación, para el caso en estudio se ajustó a un valor de 40% de la corriente nominal del transformador, dado que los niveles de desbalance esperados en subestaciones son altos cuando hay pérdida de carga por despeje de fallas en ramales.

4.3. Reconector o Recloser.

Los reconectores usados por la empresa eléctrica de Guayaquil son de marca Cooper de tipos VWE con interrupción en vacío. El control de las alimentadoras es de marca Cooper de forma 6, su funcionamiento es electrónico y nos permite elegir entre una variedad de curvas de ajuste.

El reconector permite aislar a las cuatro alimentadoras de salida de la subestación y es una protección de respaldo para fallas en el sistema. El reconector detecta las corrientes excesivas en el sistema de distribución e interrumpe el circuito para despejar las fallas. Se vuelve a conectar de modo automático si la falla es temporal. El reconector hace varios intentos de despejar y volver a conectar la alimentación al circuito. Si la falla persiste, el reconector se bloquea.

La Empresa Eléctrica Guayaquil EP posee un criterio de operación de manera tal que se establecen medidas de alerta cuando la lectura de corriente de una alimentadora sobrepasa los 350 [A], lo mismo que sucede cuando hay sobrecarga en una troncal o se debe tener en cuenta los mantenimientos programados donde hay transferencia de carga de una alimentadora a otra.

Para la selección del ajuste del reconector se multiplica la corriente máxima de alerta que fluye por el alimentador por un factor de ajuste, el rango de este factor es de 1,5 a 2, obteniendo un rango de corriente, lo cual la corriente de despeje se la determina escogiendo el valor que está dentro del rango.

$350 * 1,5 = 525 \text{ A}$
 $350 * 2 = 700 \text{ A}$

Entonces, el ajuste seleccionado para nuestros reconectores será:

Corriente de despeje: 560Amp.

5. Coordinación de las Protecciones.

5.1. Características de los Fusibles.

De manera general un fusible es un dispositivo eléctrico de protección usado para proteger un circuito eléctrico mediante la fusión de uno o varios elementos construidos para este objetivo de protección, interrumpiendo el flujo de la corriente eléctrica cuando esta sobrepasa el valor de la corriente de fusión del fusible dentro de un tiempo determinado.

Los fusibles utilizados para la protección de la subestación Samanes son los Fusibles de Potencia Tipo SMD-20 con sus Unidades Fusibles SMU- 20 de S&C; con capacidad de hasta 200 amperios en voltajes de línea de hasta 34,5 KV, y con capacidades de interrupción de falla de 22.400 amperios RMS asimétricos en sistemas hasta 16,5 KV y de velocidad K de S&C.

5.2. Resultados de la Coordinación de la Subestación y Red de Distribución de la Subestación Samanes.

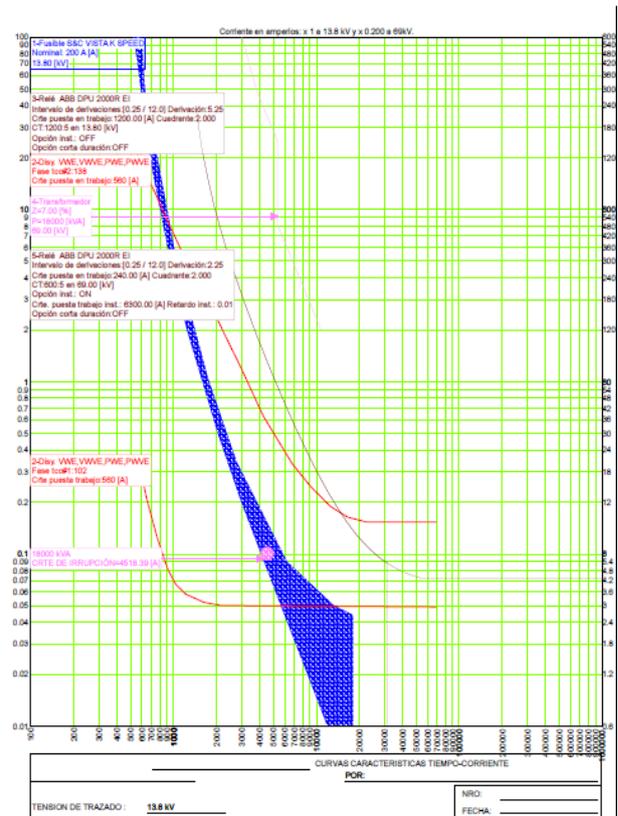


Fig. 7. Esquema De Coordinación De Las Protecciones De La Subestación Samanes.

III CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

[1] La potencia que consume la subestación Samanes desde la sub estación de transmisión Nueva Prosperina es de 19.68 MW para carga máxima lo cual significa un 82% de su capacidad FA de esta manera se cumple la premisa de no sobrepasar el 85% de la capacidad nominal en FA manteniendo su regulación de voltaje dentro del 5%. Estos datos son necesarios en la selección de los ajustes de las protecciones, los cuales deben permitir condiciones transitorias normales de operación como las corrientes de magnetización de transformadores y grandes cargas.

[2] También una vez realizado el estudio de flujo de carga se observó los voltajes en las diferentes barras del sistema son mayores al 0.95 [pu] lo que está dentro de los márgenes aceptados.

[3] Realizado los estudios de flujo de carga se pudo observar que la máxima corriente de carga que presenta una alimentadora es de 292 A, para un conductor de calibre 336,4 AWG cuya máxima capacidad es de 519 A, se puede concluir que no existe sobrecarga lo cual nos permite tener un margen de seguridad variaciones de corriente sin afectar a la integridad del conductor y realizando el respectivo estudio se tiene la posibilidad de transferir carga de una alimentadora a otra.

[4] La configuración que presenta el transformador es de una conexión D-Yn1, para lo cual el valor de corriente más elevado para caso de fallas, obtenido mediante el análisis de corto circuito, fue el correspondiente a una falla trifásica en el lado primario y también una falla de trifásica en el secundario.

[5] La falla máxima en estado estable del lado secundario del reconectador (7327 A) es menor que la capacidad de interrupción para los reconectores en el arranque de las alimentadoras de 12 KA, por lo que cumple con lo establecido en el Std. C37.13-1989 7, donde se considera un factor de 1.15 por la corriente máxima de falla, es decir $1.15 \cdot 7327 = 8426$ A.

[6] Las corrientes de cortocircuito han sido calculadas considerando los estándares de la IEEE aplicables para el cálculo de falla para voltajes medio y alto. Standard IEEE Std C37.010-1979, IEEE Std C37.5-1979, IEEE Std 141-1993, IEEE Std 241-1990, and IEEE Std 242-1986.

[7] El estudio de Corto Circuito y su respectivo estudio de coordinación de protección nos ha permitido determinar el rango de coordinación entre las protecciones del sistema. Logrando obtener un intervalo de coordinación deseado y recomendado entre 0,15 a 0,25 segundos en el punto de máxima falla en la ubicación del interruptor.

[8] Al momento de realizar e implementar el estudio de coordinación de protecciones es muy recomendado si es posible, usar relés con tecnología moderna en la protección del sistema eléctrico como es el caso de la subestación

Samanes, ya que un único dispositivo tiene diferentes funciones incorporadas, brindándonos una mayor eficiencia. Como es el caso del relé TPU-2000R, que además de protección diferencial, sirve como protección de respaldo para fallas externas de corto circuito. La protección de respaldo es uno de los ítems necesarios para realizar la coordinación de las protecciones ya que nos permite evitar daños en el transformador o equipos conectados al sistema eléctrico, en caso de fallar la protección primaria, logrando así aplicar el criterio de redundancia de protecciones logrando una mayor protección del sistema eléctrico de distribución.

[9] Todos los cálculos y simulaciones realizadas están basadas en la asunción que el sistema de distribución es balanceado lo cual raramente se presenta, pero debemos mencionar que los valores obtenidos son muy aproximados y el presente proyecto tienen como fundamento principal la coordinación de protecciones por lo que al utilizar valores aproximados en simulaciones de flujos de carga y en cálculos de corrientes de falla podemos asegurar la aplicación de los conceptos aprendido en el curso de graduación.

[10] Partiendo del hecho de que usar tecnología moderna para la protección de los equipos es más eficiente, se recomienda colocar intellirupters en los ramales con mayor estadística de fallas para incrementar la selectividad y la continuidad del servicio.

[11] En la implementación de protecciones en futuras subestaciones, se recomienda solicitar la instalación de transformadores de potencial y de transformadores de corrientes en el neutro para poder adquirir relés que posean la función 87-N y tener la respectiva protección deferencial del neutro del transformador.

[12] Se recomienda como en todo equipo eléctrico realizar un respectivo mantenimiento preventivo de los diferentes equipos para evitar posibles fallas y malfuncionamientos, y como es lógico se da prioridad a los mantenimientos preventivos antes que los correctivos.

DATOS BIOGRÁFICOS



Escobar Tola Luis Randy, Nacido en Guayaquil el 08/08/1988. Estudiante de Ingeniería Eléctrica Especialización Potencia de la Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Ecuador Prácticas laborales en Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil en el Departamento de telemetría, ayudante académico en la

ESPOL, Experiencia laboral en Intra departamento de diseño, Britransformadores departamento de pruebas técnicas, CNEL EP puesto de fiscalizador comercial.



Herrera Calvache Juan Carlos, Nacido en Guayaquil el 01/12/1989. Estudiante de Ingeniería Eléctrica Especialización Potencia de la Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Ecuador Prácticas laborales en CNEL Regional Guayas Los Ríos en el Departamento de Líneas, Experiencia laboral en Inseletric como Ingeniero de Servicios y Qa/Qc, CNEL EP UN.

Milagro puesto de Planificador Técnico en el departamento de Planificación.



Zambrano Miño Carlos Andrés Nacido en Quito el 26/02/1990. Estudiante de Ingeniería Eléctrica Especialización Potencia de la Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Ecuador Prácticas laborales en IELMESA SA en departamento técnico, Experiencia laboral en IELMESA como Ingeniero de

Aplicaciones, CNEL EP Matriz. Puesto Técnico en Ingeniera en departamento de Gerencia Técnica.

ESPOL, Ecuador Agosto 2010.

[4]. Stevenson William, Análisis de Sistemas de Potencia, Editorial McGRAW-HILL, México 2004.

[5]. Schneider Electric, Cuaderno Técnico Schneider n° 195: Transformadores de intensidad: errores de especificación y soluciones, <http://www.schneiderelectric.es>, fecha de consulta octubre 2011.

[6]. Manual del TPU-2000 R de ABB.

[7]. International Standard; IEC 60044-1.

[8]. C57.13-1993 ANSI/IEEE Standard, “Requirements for Instrument Transformers”.

[9] <http://twentenergy.files.wordpress.com/2012/09/20120913-definicic3b3n-de-la-operacic3b3n-de-la-proteccic3b3n-diferencial1.png>

[10] J&C ELECTRIC COMPANY:
<http://www.sandc.com/products/switching-overhead-distribution/intellirupter-pulsecloser.asp>

Bibliografía

[1]. Distribution System protection manual from McGraw Hill – Edison company.

[2]. J. Lewis Blackburn, Protective Relaying Principles and Applications, Taylor & Francis Group Ed, 2006.

[3]. Layana José, Análisis de Falla en los Sistemas Eléctricos de Potencia, Editorial Centro y Difusión de Publicaciones