

Estudio de la Coordinación de Protecciones por Métodos Computarizados Aplicados al Sistema Eléctrico “LA TOMA (INTERAGUA)”

Fernández Flores José Paúl, García Atiencia Martín Alonso, Villacís Tigrero Fulton José
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
joseliux23@hotmail.com, martingarcia86@hotmail.com, fvillacis_cm9@hotmail.com
Juan Saavedra, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ingeniero Eléctrico Especialidad Potencia,
jsaavedra@hidronacion.org

Resumen

En el presente trabajo se analiza el sistema eléctrico de la subestación La Toma (Interagua), se realizó el estudio de flujo de carga para determinar la situación eléctrica actual del sistema y verificar que sus elementos posean reserva suficiente para un funcionamiento normal en caso de contingencia; se realizó el estudio de corto circuito para conocer las corrientes máximas que circulan en cada una de los elementos del sistema en caso de alguna falla, para la selección correcta de los interruptores, y realizar los ajustes respectivos de los elementos de protección.

Para realizar correctamente los ajustes es necesario aplicar los criterios de selección y analizar las corrientes en condiciones normales, bajo contingencia y corrientes de fallas, lo más importante es que los ajustes de los relés se realizaran de tal manera que haya selectividad entre ellos y que exista respaldo.

Todos los elementos del sistema tienen igual importancia, por este motivo se protegió a cada uno de ellos no solo de las corrientes excesivas sino también de otras condiciones anormales.

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

Abstract

This paper discusses the electrical substation “La Toma (Interagua)”, the load flow study was conducted to determine the electrical current situation system and verify that its elements possess sufficient for normal operation contingency; reservation was made the study of short circuit to meet peak currents that circulate in each of the elements of the system in case of failure, for the right selection switches, and the respective adjustments of the elements of protection. To properly make the adjustments needed to apply the selection criteria and analyze currents in ordinary under contingency fault conditions, most importantly relay settings be undertaken so that have selectivity between them and that there is support. All elements of the system are equally important, why are protected each not only excessive flows but also of other abnormal conditions.

1. Descripción de las instalaciones.

La subestación es alimentada por una línea de transmisión aérea de 69 KV que arranca desde la salida #72 de la subestación Pascuales con conductor tipo LINNET 336.4 MCM y cuya longitud aproximada es de 10 Kms, en simple terna, pasa por la subestación La Toma, y continua hasta Daule.

El sistema eléctrico de La Toma, está conformado por dos subestaciones, conformadas por módulos de estructuras metálicas para 69KV. A la primera subestación (SE1) llega la línea desde Pascuales, y sale hacia Daule a través de un disyuntor de aceite y un pórtico para el arranque de esta línea; además de aquí parte una derivación hacia la segunda subestación (SE2). Existen tres t

alimenta a los dos transformadores de 69/13.8 KV (SE1) y a través de estos a la Estación de Bombeo 4 (cada transformador alimenta a un sector de esta estación de bombeo, sector A y sector B respectivamente) que se interconectan a través de un disyuntor normalmente abierto, el cual sirve para hacer maniobras en caso de que algún transformador salga de servicio o este en mantenimiento; en cada sector se encuentran conectados 4 motores de 3000HP, normalmente funcionan cuatro de los ocho, dos en cada estación, pero en caso de alguna anomalía pueden funcionar con un factor de simultaneidad de 0.75, es decir pueden funcionar máximo 3 motores en cada barra; la planta de tratamiento se alimenta desde el sector B.

Las otras dos barras de 69 KV (SE2) son alimentadas desde la primera barra de 69KV y se interconectan a través de un disyuntor normalmente cerrado. De una de las barras del módulo de 69 KV se alimenta un transformador de 10000/12000 KVA, OA/FA, 69/4.16 KV. Existe también un módulo de estructuras metálicas para 4.16 KV; a este módulo llega la alimentación del transformador a través de un disyuntor de aceite, de esta barra se alimenta a la estación de bombeo N°1. Junto a la otra barra de 69KV se encuentra un segundo transformador (de similares características al primero) y de las barras aéreas salen tres (3) líneas: una para la planta de tratamiento antigua, otra para los talleres y dos grupos de electrobombas de 400HP en la estación de bombeo N° 3; y una tercera que alimenta a la estación de bombeo N° 2 para cuatro (4) electrobombas de 1250 HP. Las dos primeras alimentadoras mencionadas son de construcción aérea; la tercera es subterránea con cables aislados, que salen desde el disyuntor "D" y llegan al disyuntor "F" en la estación de bombeo N° 2, y de este se alimenta al Centro de Control de Motores N° 2. Existe también la interconexión entre las barras de 4.16KV (interconexión E) la cual permanece normalmente abierta, y solo es cerrada en caso de emergencia o durante el mantenimiento de uno de los dos transformadores.

2. Estudio de flujo de carga.

El estudio de flujo de carga es de gran importancia en la planeación y diseño de sistemas eléctricos de potencia, así como en la determinación de las mejores condiciones de operación de sistemas existentes. La información principal a obtener de un estudio de flujo de carga, es la magnitud y el ángulo de fase del voltaje en cada barra y las potencias real y reactiva que fluyen en cada línea. En la actualidad existen herramientas computacionales que simplifican el estudio de sistemas de potencia; en nuestro caso, para el estudio de flujo de carga utilizaremos el Simulador Power World.

2.1 Criterios adoptados para el estudio.

2.1.1. Flexibilidad Operacional. El sistema no tiene una buena flexibilidad, solo operara recibiendo energía del sistema nacional interconectado,

2.1.2. Niveles de Confiabilidad. El sistema provee una continuidad de servicio ante fallas en alguno de sus elementos o durante el mantenimiento de uno de los transformadores.

2.1.3. Niveles de sobrecarga. No se aceptan sobrecarga en los cables del Sistema mayores a la cargabilidad establecida en las especificaciones técnicas. Pero tienen suficiente reserva ante cualquier anomalía.

Los transformadores en condiciones normales operan con reserva, pero en caso de mantenimiento de uno de ellos se encuentran sobrecargados pero no se excede la carga a un valor mayor a su capacidad FA.

2.1.4. 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.

2.2. Resultados de los Estudios de Flujo de Carga.

El análisis del flujo de carga muestra lo siguiente:

Tabla 1. Voltajes en cada barra

Voltajes			
Barra	p.u.	Voltios	Fase
Pascuales	1	69	0
Barra de 69	0,9859	68,03	-0,82
Transformador sector A	0,9857	68,01	-0,82
Transformador sector B	0,9857	68,01	-0,82
Sector A	0,9723	13,42	-2,2
Sector B	0,9708	13,4	-2,68
Planta de tratamiento	0,9707	13,4	-2,69
barra de 69 1	0,9853	67,99	-0,86
barra de 69 2	0,9853	67,99	-0,86
Transformador 1	0,9853	67,99	-0,86
Transformador 2	0,985	67,97	-0,88
E B 1	0,9862	4,1	-1,74
Barra de 4.16	0,978	4,07	-2,99
E B 2	0,9779	4,07	-2,99
EB 3	0,9779	4,07	-2,99

Tabla 2. Consumo

	MW	MVAR	MVA
Carga	18.63	7.31	20.0128209

Tabla 3. Carga de Conductores

DE	A	Capac MVA	Carga MVA	% de carga
Pascuales	Barra de 69	25	20	80
Barra de 69	Barra de 69 1	15	7.26	48
Barra de 69 1	Transformador 1	12	2.13	18
Barra de 69 2	Transformador 2	12	5.2	43
Barra de 4.16	E B 2	12	2.13	18
Barra de 4.16	EB 3	11.5	1.07	9
Barra de 69	Trafo sector A	16.5	5.57	34
Barra de 69	Trafo sector B	16.5	7.21	44
Sector B	Plante de tratamiento	8	1.7	21
Barra de 4.16	EB 1	15	-	0
EB 1	EB 2	12	-	0

Tabla 4. Carga de los Transformadores.

	Capacidad (MVA)	Capacidad máxima (MVA)	Carga (MVA)	% de carga
Transf. sector A	12.5	16	2.76	22%
Trans. sector B	12.5	16	3.15	25%
Trans. 1	10	12.5	2.13	21%
Trans. 2	10	12.5	5.2	52%

3. Estudio de corto circuito.

En el análisis de corto circuito, las fallas del sistema se manifiestan como condiciones anormales de operación que nos podrían conducir a uno de los siguientes fenómenos:

- Indeseables flujos de corrientes.
- Presencia de corrientes de magnitudes exageradas que podrían dañar los equipos.
- Caída de Voltaje en la vecindad de la falla que puede afectar adversamente la operación de las maquinas rotatorias.

- Creación de condiciones peligrosas para la seguridad del personal.

3.1. Alcance de los estudios de corto circuito.

Considerando que el Sistema de La Toma (INTERAGUA) 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.

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.

3.2. Resultados de los estudios de corto circuito.

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

Tabla 5. Corrientes de Fallas trifásicas

Corrientes trifásicas		
	Amperios	p.u.
Barra de 69	4836.06	5.78
Transformador sector A	4787.45	5.722
Transformador sector B	4786.95	5.721
Sector A	10300.3	2.462
Sector B	10295	2.461
Planta de tratamiento	10173.3	2.432
Barra de 69 1	4664.33	5.574
Barra de 69 2	4664.16	5.574
Transformador 1	4643.34	5.549
Transformador 2	4508.94	5.389
Barra de 4.16	41819.3	3.042
EB1	28829.9	2.097
EB 2	41995.9	3.026
EB 3	41994.6	3.026
Motores 3000	7850.11	0.5656
Motores 1250	20254.6	1.4594

Tabla 6. Corrientes de Fallas línea a tierra

Corrientes L – T		
	Amperios	p.u.
Barra de 69	3650.99	4.363
Transformador sector A	3603.65	4.307
Transformador sector B	3603.15	4.306
Sector A	7263.49	1.736
Sector B	7252.23	1.733
Planta de tratamiento	7154.24	1.71
Barra de 69 1	3447.94	4.121
Barra de 69 2	3447.76	4.12
Transformador 1	3307.36	3.953
Transformador 2	3294.58	3.937
Barra de 4.16	35148.6	2.557
EB1	21000.9	1.528
EB 2	35376.7	2.549
EB 3	35376.6	2.549
Motores 3000	5460.63	0.393
Motores 1250	14355.3	1.034

4. Coordinación de las protecciones.

Los estudios de flujo de carga y Corto Circuito del sistema la Toma (Interagua) son la base para el ajuste y coordinación de las Protecciones del Sistema. Los estudios se realizaron con los siguientes objetivos:

- Determinar del ajuste de los equipos de protección, los cuales son establecidos considerando el sistema bajo condiciones de falla.
- Determinar la coordinación de las Protecciones del sistema la Toma (INTERAGUA) propiamente y con la Protecciones del Sistema de la Empresa Eléctrica.
- La aplicación del Estudio permitirá el despeje oportuno y selectivo de las fallas del sistema.

4.1. Esquemas de Protecciones.

Es necesario que cada elemento del sistema eléctrico de una industria sea protegido de todas las posibles fallas que se presente.

A continuación se muestran los esquemas de protección de los principales elementos del sistema eléctrico.

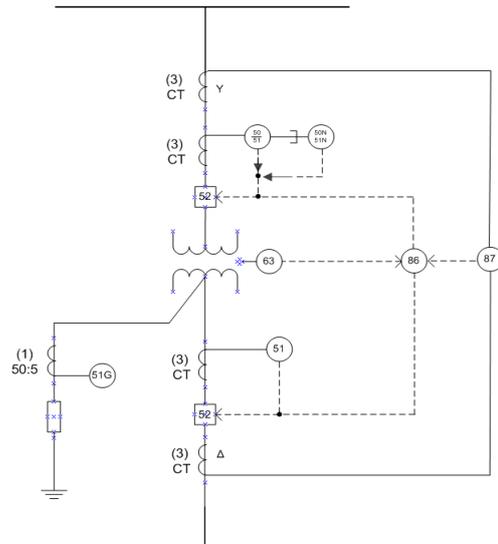


Figura 1. Esquema de protección de transformadores

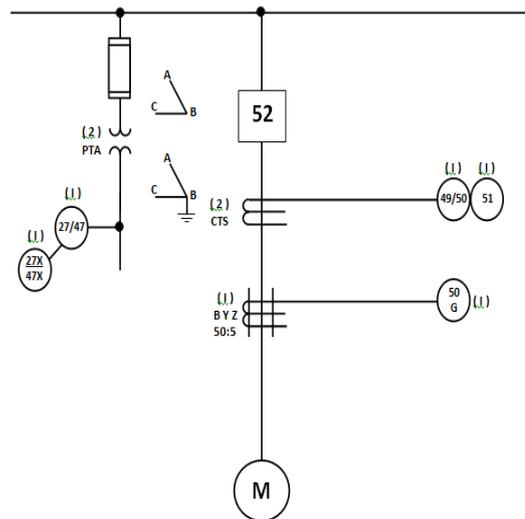


Figura 2. Protección de motores menores de 1500HP

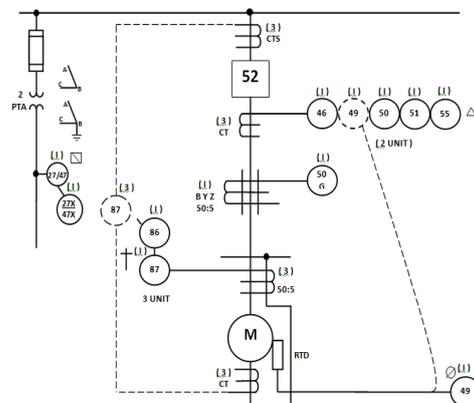


Figura 3. Protección de motores mayores de 1500HP

La información básica para el ajuste y coordinación de las protecciones provienen de los estudios de flujo de carga, Cortocircuito y los esquemas de Protección indicados en la sección anterior.

4.2. Protección de la subestación (Transformadores).

Transformador Sector A 69/13.8 KV

GE745 (Transformer Management Relay)

- Protección de Sobrecorriente IAC 51 INVERSE STD en los lados de ALTA y BAJA
- Protección Diferencial 87 (Regulación I%=0.05In)

Transformador Sector B 69/13.8 KV

GE745 (Transformer Management Relay)

- Protección de Sobrecorriente IAC 51 INVERSE STD en los lados de ALTA y BAJA
- Protección Diferencial 87 (Regulación I%=0.05In)

Transformador (1) a EB 1

GE745 (Transformer Management Relay)

- Protección de Sobrecorriente
Tipo de curva: IAC 51 INVERSE STD en el lado de ALTA
Tipo de curva: MDP INVERSE en el lado de BAJA
- Protección Diferencial 87 (Regulación I%=0.05In)

Transformador (2) a Barra 4.16 KV

GE745 (Transformer Management Relay)

- Protección de Sobrecorriente
Tipo de curva: IAC 51 INVERSE STD en el lado de ALTA
Tipo de curva: MDP INVERSE en el lado de BAJA
- Protección Diferencial 87 (Regulación I%=0.05In)

4.3. Protección de Alimentadoras.

Línea de Sector B 13.8 kv a Planta de tratamiento

Tipo de curva: GE F-60 IAC Inverse

Transformador de corriente: 1000/5

Tap: 2

TD: 0.5

Línea de Barra de 4.16 kv a EB 3

Tipo de curva: GE-F60 IAC INVERSE

Transformador de corriente: 500/5

Tap: 10

TD: 0.83

Línea de Barra de 4.16 kv a EB 2

Tipo de curva: GE-F60 IAC VERY INVERSE

Transformador de corriente: 1000/5

Tap: 8

TD: 0.5

Tipo de curva: West.ch CO-8

Transformador de corriente: 1000/5

Tap: 8

TD: 0.5

4.4. Protección de Motores.

Motores de 3000Hp (Sector A, B)

GE269+ (Motor Management Relay)

- Protección de Sobrecorriente MDP EXT. INVERSE
- Protección Diferencial
- Protección Térmica (RTD's)
- Protección de Bajo Voltaje (5%)
- Protección contra Inversión de fases

Motores de 1250 Hp (EB1, EB3)

GE269+ (Motor Management Relay)

- Protección de Sobrecorriente MDP EXT. INVERSE
- Protección Térmica (RTD's)
- Protección de Bajo Voltaje (5%)

Motores de 1250 Hp (EB2)

- Relé de Bajo Voltaje 27

- Fusible GE P-210

4.5. Ajustes y Tiempos de Operación de los Relés.

Tabla 7. Características para los ajustes.

DE	A	CT	I pk (A.)	I falla (A.)
Barra de 69	Transf.69 kv	200/5	1062	3000
Transf.69 kv	Barra sector A 13.8kv	1500/5	498	5500
Barra sector A 13.8kv	Motores 3000 hp	200/5	663	8750
Barra 69 kv	Transf.69 kv	200/5	1062	3000
Transf.69 kv	Barra sector B 13.8kv	1500/5	498	5513
Barra sector B 13.8kv	Motores 3000 hp	200/5	663	8750
Barra sector B 13.8kv	Planta de tratamiento	100/5	1327	10174
Barra 69 kv (1)	Transf.1	120/5	400	4276

Transf.1	Barra 4.16 kv	2000/5	1200	28000
Barra 4.16 kv	Motores 1250 hp (EB1)	200/5	796	20000
Barra de 69 (2)	Transf. 2	120/5	796	4500
Transf.2	Barra 4.16 kv	2000/5	2000	41819
Barra 4.16 kv	EB2	1000/5	1600	41985
Barra 4.16 kv	EB2	1000/5	1600	41985
EB2	Motores 1250 hp (EB2)			25000
Barra 4.16 kv	EB3	500/5	2000	41994
EB3	Motores 1250 hp (EB3)	200/5	796	20000

Tabla 8. Resumen de ajustes

DE	A	TAP	TD	T op. (seg)
Barra de 69	Transf.69 kv	1	0.8	0.35
Transf.69 kv	Barra sector A 13.8kv	0.5	0.8	0.27
Barra sector A 13.8kv	Motores 3000 hp	8	2.1	0.18
Barra 69 kv	Transf.69 kv	1	0.8	0.30
Transf.69 kv	Barra sector B 13.8kv	0.5	0.9	0.27
Barra sector B 13.8kv	Motores 3000 hp	8	2.1	0.19
Barra sector B 13.8kv	Planta de tratamiento	2	0.5	0.16
Barra 69 kv (1)	Transf.1	2	1	0.38
Transf.1	Barra 4.16 kv	3	0.7	0.17
Barra 4.16 kv	Motores 1250 hp (EB1)	10	10	0.10
Barra de 69 (2)	Transf. 2	2	1.8	0.62

Transf.2	Barra 4.16 kv	5	0.9	0.22
Barra 4.16 kv	EB2	0.8	0.5	0.06
Barra 4.16 kv	EB2	0.8	0.5	0.06
EB2	Motores 1250 hp (EB2)			
Barra 4.16 kv	EB3	10	0.83	0.19
EB3	Motores 1250 hp (EB3)	9	8	0.11

5. Conclusiones.

En base a los estudios realizados, podemos concluir:

Que el sistema eléctrico “LA TOMA” (Interagua) es confiable, y soporta sin problemas los casos de contingencia simple.

Se realizó la coordinación de protecciones de manera que garantice la correcta protección y operación de los elementos del sistema incluso en estados críticos como son el momento del arranque de los motores de las estaciones de bombeo y en el caso de mantenimiento de alguno de los transformadores.

A través de los settings escogidos para los relés de protección se garantizan tiempos de despeje de fallas menores a 1 segundo en el caso de protección primaria y de respaldo, garantizando que nuestros equipos no sufran daño alguno, o que el daño sea mínimo en el caso de presentarse una falla.

6. Referencias.

- [1] Stevenson Willian y Grainger Jhon, Analisis de Sistemas de Potencia, Editorial McGraw-Hill, 1997.
- [2] Mason Russell, El Arte y La Ciencia de la Protección por Reelevadores, Editorial Continental S.A., 1971
- [3] Estándares IEEE, Calculo para Voltajes Medio y Alto
IEEE STD C37.010-1979
IEEE STD C37.5-1979
IEEE STD 141-1993
- [4] Estándar IEEE, Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis
IEEE STD 399-1990