

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL



COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES DE LA SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN EN LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA

Robinson David Fernández Chicas ⁽¹⁾, José Leonidas Espinel Encalada ⁽²⁾, Yasmani Leonardo Aguilar Sánchez ⁽³⁾,
Juan Saavedra ⁽⁴⁾

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

⁽¹⁾ robinsondfernandez@gmail.com, ⁽²⁾ jose_espinel@outlook.com, ⁽³⁾ yasmaniaguilar91@gmail.com,

⁽⁴⁾ juan.saavedra@celec.gob.ec

Resumen

El presente trabajo desarrolla el estudio de la coordinación de protecciones aplicados a la subestación de distribución "SALINAS", ubicada en la península de Santa Elena. Partiendo primero desde la descripción de las instalaciones, para conocer los elementos que la componen; posteriormente, se realiza un estudio de flujo de carga en condiciones de máxima y mínima carga y un estudio de cortocircuito de la subestación aplicados a la barra de 69kV y 13.8kV, esto nos servirá como datos preliminares para proceder a realizar el ajuste adecuado de las protecciones de la subestación y la coordinación de las mismas con las protecciones del sistema de distribución, mediante el uso de herramientas informáticas modernas conseguiremos la mejor opción en cuanto a coordinación de protecciones se refiere permitiéndonos aumentar la confiabilidad y funcionamiento del sistema ante eventuales condiciones de falla.

Palabras Claves: *Coordinación, Ajuste, Protección*

Abstract

This paper develops the study of the coordination of protections applied to the distribution substation "SALINAS", located on the peninsula of Santa Elena. Starting first from the description of the facilities, for the elements that compose it, then a load flow study is performed at maximum and minimum load and a short study applied to substation 69kV and 13.8 bar kV, this will serve as preliminary data to proceed with appropriate adjustment of substation protection and coordination thereof with protection of the distribution system, by using modern tools get the best option in terms of coordination refers protections allowing increase reliability and system performance to any fault conditions.

Key Words: *Coordination, Setting, Protection*

1. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

1.1 Introducción

En este capítulo detallaremos cada uno de los elementos y características de la subestación de distribución Salinas así como su ubicación exacta en la ciudad de Salinas.

1.2 Descripción Física Generalizada de las Instalaciones.



Figura 1. Ubicación de la S/E Salinas (fuente: Google Maps).

El estudio de coordinación de las protecciones se realizará en la Subestación de distribución Salinas. Ésta subestación se encuentra ubicada en la ciudad de Salinas delimitada al norte por la calle 22 de Diciembre y al Sur con el hospital General de Salinas, al este con el club EMEPE y al oeste con la calle Quito frente el Golf Country Club.

La subestación Salinas fue construida en el año 1988, cabe mencionar que todos los elementos correspondientes a 13.8KV se encuentran dentro de una celda metal clad marca MITSUBISHI la cual los protege de la contaminación salina que abunda en el lugar.

En la tabla uno se muestran los elementos principales de la subestación Salinas

ITEM	EQUIPO	CANTIDAD
1	AISLADORES DE PORCELANA A NIVEL DE 69KV	8
2	SECCIONADOR DE PUESTA A TIERRA MITSUBISHI	1
3	INTERRUPTOR EN GAS SF6 MITSUBISHI	1
4	INTERRUPTOR EN GAS SF6 EIB	1
5	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 10/12.5 MVA	1
6	METAL-CLAD MITSUBISHI (9 CELDAS)	1
7	BATERIAS ESTACIONARIAS DE ACIDO DE PLOMO	1
8	TRANSFORMADOR AUXILIAR DE SERVICIO	1
9	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE KYODEN	15
10	TRANSFORMADORE DE POTENCIA MITSUBISHI	5
11	DISYUNTORES A 13.8KV 1200A	1
12	DISYUNTORES A 13.8KV 600A	5
13	RELE DE PROTECCION DIFERENCIAL	1
14	RELE DE FRECUENCIA	1

Tabla 1. Elementos de la S/E Salinas.

1.3 Descripción General del Sistema Eléctrico

En general, la subestación Salinas se alimenta permanentemente de la Subestación San Vicente que es una subestación de paso a nivel de 69KV, al igual que la Subestación Salinas sirve como subestación de paso para alimentar a la Subestación Chipipe. En caso de que salga de servicio la línea que viene de la Subestación San Vicente se puede alimentar de energía a través de la subestación Santa Rosa.

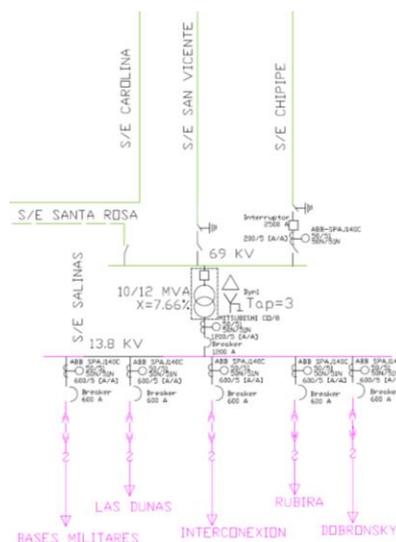


Figura 2 Subtransmisión que alimenta a la S/E Salinas

1.4 Descripción Particular de la Subestación

1.4.1 Patio de 69KV

En las siguientes tablas se detallan las características de los elementos que componen el patio de 69kV.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
AISLADORES DE PORCELANA A NIVEL DE 69 KV	8

Tabla 2. Aisladores en el patio de 69KV.

SECCIONADOR DE PUESTA A TIERRA			
MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION JAPAN			
TIPO	70 – GVE	TENSION NOMINAL	72.5 KV
TENSION RESISTIDA DE IMPULSO			350 KV
CORRIENTE DE CORTA DURACION			20 KA

Tabla 3. Seccionador de puesta a tierra

INTERRUPTOR EN GAS	
MARCA	MITSUBISHI
TIPO	70-SFMT-258
TENSION NOMINAL	72.5 KV
CORRIENTE NOMINAL	600 A
TENSION DE IMPULSO	350 KV
CORRIENTE DE INTERRUPCION NOMINAL	20 KA
PESO DEL GAS	12 Kg
PESO TOTAL CON GAS	1400 Kg
TENSION Y FRECUENCIA CIRCUITO AUXILIAR	240 VCA 60 HZ
PRESION NOMINAL DEL GAS	5 Kg.f/cm3

Tabla 4. Características Técnicas – interruptor en Gas SF6 del transformador de Potencia

INTERRUPTOR DE GAS SF6	
MARCA	EIB
TIPO	S1-100 F1 CRR 5-1
FRECUENCIA	60 Hz
CORRIENTE NOMINAL	2500 A
CORRIENTE DE CORTOCIERCUITO	31.5 KA

Tabla 5. Interruptor de gas SF6 conexión con Chipipe

1.4.2 Transformador de Potencia

El transformador de potencia de la subestación Salinas es de procedencia Japonesa y presenta las siguientes características técnicas.

TRANSFORMADOR DE POTENCIA	
MARCA	MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION
MODELO	CRB
FASES	3
FRECUENCIA	60
CLASE	OA/FA
CAPACIDAD	10/12,5 MVA
VOLTAJE	69/13.8 KV
NIVEL BASICO DE IMPULSO A.T.	350 KV
NIVEL BASICO DE IMPULSO B.T.	110 KV
IMPEDANCIA	7.66%
CONEXIÓN	DELTA-ESTRELLA
L-SPEC	HB16366
FECHA	AGOSTO DE 1988
SERIE	8817600102
NORMA	ANSI-C57.12

Tabla 6. Datos del Transformador de potencia de la S/E Salinas.



Figura 3 Transformador de potencia de la S/E Salinas

1.4.3 Patio de 13.8KV

Todos los elementos correspondientes al nivel de 13.8 KV se encuentran dentro de la celda Metal-Clad de 9 celdas marca MITSUBISHI, cuyos datos de placa se muestran en la tabla 7 y la fotografía correspondiente en la figura 4.

METAL-CLAD	
Marca	MITSUBISHI
Tipo	EX 13.8KV
Standard	1200 ^a
Frecuencia	60Hz
BIL	95KV
Serie	88J8580301/09

TABLA 7. Datos de placa del Metal Clad.



Figura 4. Metal-Clad de la Subestación Salinas

2. ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA

El Estudio de Flujo de Carga nos proporciona información sobre:

- ❖ 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.

2.1 Introducción.

Para la realización del estudio de flujo de carga haremos uso del software Power World Simulation 17.0, el cual nos permite realizar la simulación del comportamiento del sistema de distribución de la Subestación Salinas a valores de máxima y mínima carga.

2.2 Criterios adoptados para el estudio

- ❖ Flexibilidad Operacional. La subestación Salinas se alimenta a nivel de 69KV a través de la subestación San Vicente (Subestación de paso) y la Subestación Santa Elena (138/69KV). Además existe una línea de subtransmisión entre la Subestación Santa Rosa y la Subestación Salinas la cual puede suplir de energía a la Subestación en caso de salir de servicio la línea San Vicente – Salinas (69KV).

- ❖ **Niveles de Confiabilidad.** El sistema debe proveer la continuidad del servicio y la alimentación a las instalaciones del Hospital General Salinas por el Ramal Dunas de la subestación Salinas de forma prioritaria, ante la existencia de alguna falla de un elemento del sistema.
- ❖ **Niveles de sobrecarga.** No se aceptan sobrecarga en los cables del Sistema mayores a la cargabilidad establecida en las especificaciones técnicas de los mismos. Para el caso de los Transformadores Convencionales de Fuerza, la carga no debe exceder su capacidad OA (Sumergido en aceite con enfriamiento natural).
- ❖ **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.

2.3 Flujo de Carga - Demanda máxima

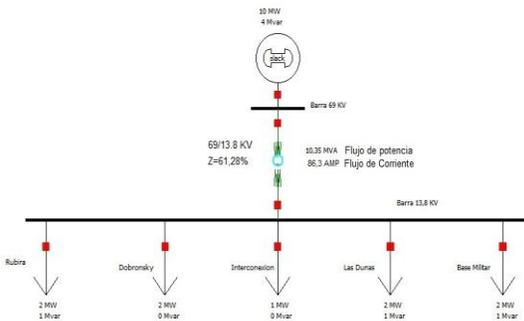


Figura 5. Flujo de Carga – Máxima Demanda.

2.3.1 Voltajes y Carga en las barras (D. Max.)

No	Nombre	Nominal (kV)	Voltaje (pu)	Voltaje (kV)	Ángulo °C
1	Barra 69 kV	69	1	69	0
2	Barra 13,8 kV	13,8	0,9813	13,5413	-3,4841°

Tabla 8. Voltaje en barras para demanda máxima.

2.3.2 Consumo de Potencia total (D. Max.)

Consumo - Carga Máxima		
Barra de Carga	MW	MVAR
13,8 kV	9,731	2,706

Tabla 9. Consumo para carga máxima.

Los parámetros tanto de caída de voltaje como cargabilidad de los conductores están dentro de los rangos permitidos en las normas técnicas de distribución.

2.4 Flujo de Carga - Demanda mínima

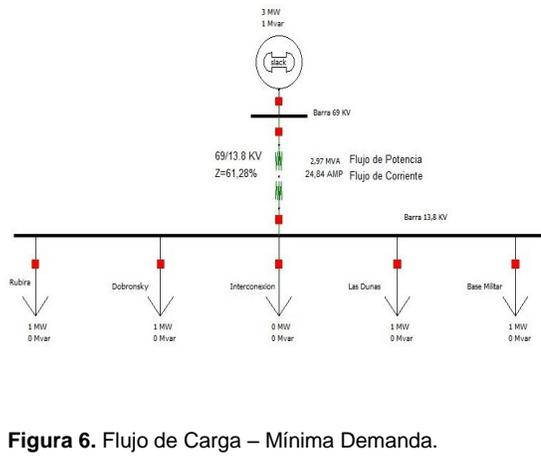


Figura 6. Flujo de Carga – Mínima Demanda.

2.4.1 Voltajes y Carga en las barras (D. Mín.)

No	Nombre	Nominal (kV)	Voltaje (pu)	Voltaje (kV)	Ángulo °C
1	Barra 69 kV	69	1	69	0
2	Barra 13,8 kV	13,8	0,994	13,7175	-0,9976°

Tabla 10. Voltaje en barras para demanda mínima.

2.4.2 Consumo de Potencia total (D. Min.)

Consumo - Carga Mínima		
Barra de Carga	MW	MVAR
13,8 kV	2,796	0,943

Tabla 11. Consumo para carga mínima.

Como se puede apreciar para el caso de demanda mínima la caída de voltaje en los conductores es mínima y la cargabilidad de los conductores también está dentro de los rangos establecidos en las normas técnicas de distribución.

3. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO.

3.1 Introducción.

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.

3.2 Datos del Sistema

3.2.1 Impedancia Equivalente-Punto de Entrega de la Empresa Eléctrica

Tipo de Impedancia	Magnitud p.u.	Ángulo	R+jX [Ohmios]	X/R
Positiva (+)	0,2770	74,54	3,0684 + j12,8295	4.181
Negativa (+)	0,2770	74,54	3,0684 + j12,8295	4.181
Cero (0)	0,9928	75,18	12,0879 + j45,6938	3.780

Tabla 12. Impedancia Equivalente para máxima generación 69KV.

3.2.2 Datos de conductores.

Los conductores son elementos pasivos en el análisis de cortocircuito, por lo que sus características técnicas son similares a las aplicadas en los estudios de flujo de carga.

3.2.3 Datos del transformador.

Igual que en el caso de los conductores los transformadores son elementos pasivos en el análisis de cortocircuito, sus características técnicas son análogas a las utilizadas en los estudios de flujo de carga.

3.3 Resultados del Estudio de Corto Circuito.

3.3.1 Corrientes de falla en cada una de las barras.

Se muestra en la tabla siguiente los resultados obtenidos en la simulación de las diferentes fallas en el sistema eléctrico, tanto para el lado de 69KV como en el lado de 13.8KV.

Tipo Falla	69 kV		13,8 kV	
	Icc (A)	Icc (p.u.)	Icc (A)	Icc (p.u.)
Fase Tierra	1650,98	1,973	5357,47	1,281
Línea - Línea	2745,93	3,282	4203,4	1,005
Dos Fases tierra	1116,04	1,334	5963,55	1,425
Trifásica	3170,73	3,789	4853,66	1,16

Tabla 13. Resumen de las corrientes de falla

3.3.2 Corrientes de Corto circuito máxima en la Subestación Salinas

En la tabla a continuación mostramos la tabla donde observamos los valores de máxima falla obtenidos en el estudio de corto circuito.

	69 KV	13,8 kv
	I _{max}	I _{max}
Amperios	3170,73	5963,55
Ángulo	-74,7	90,19

p.u.	3,789	1,425
Falla	3Ø	LLG

Tabla 14. Corriente de cortocircuito máximas en la subestación Salinas

4. PROTECCIÓN DE LA SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN

Las subestaciones forman parte indispensable de los sistemas eléctricos de potencia pues son centros de transformación de energía que enlazan las líneas eléctricas de alta tensión con las líneas de media tensión o viceversa, dependiendo del tipo de subestación que se esté analizando, ya que una subestación es un conjunto de aparatos de maniobra y circuitos instalados en un lugar determinado que tienen la función de modificar los parámetros de tensión y corriente.

4.1 Esquema de Protección

La protección de la S/E Salinas está comprendida por el relé TPU 2000R que sirve para proteger el transformador ante una falla eventual y el relé SPAJ 140 C que sirve para la protección de las alimentadoras.

Dentro de las características del relé TPU 200R, éste abarca los siguientes tipos de protecciones:

- Protección diferencial de fase (87T) e instantáneo sin restricción (87H) para dos o tres devanados.
- Protección contra sobrecorriente de secuencia negativa (46) a tiempo inverso y definido.
- Protección de sobrecorriente de fase instantáneo y a tiempo inverso (50/51) por devanado.
- Protección de sobrecorriente de neutro del transformador instantáneo y temporizado (50N/51N)

4.2 Ajuste de la Protección del Transformador de Potencia

El transformador de la Subestación Salinas es de procedencia Japonés marca Mitsubishi el cual se lo ubica como de categoría III ya que es un transformador trifásico y capacidad mínima 10MVA. A continuación se muestra un resumen del ajuste de la protección 87.

Ajuste del 87	
Transformador 10/12.5 MVA	
Lado de Alta	
Conexión	Delta
Corriente nominal	104.59
Relacion CT	600:5
Corriente de puesta en trabajo	
Lado de Baja	
Conexión	Estrella
Corriente nominal	522.96
Relacion CT	1200:5
Corriente de puesta en trabajo	
Errores	
Error por TAP	10
Error por CT	5
Mismatch	4.4
Error por arranque	5
Ajuste	
Puesta en trabajo minimo 87T	1.70
Pendiente 87T	30%
Ajuste del 87H	2.70

Tabla 15. Resumen de Ajuste de la Protección 87T y 87H.

5. COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES

Para el estudio de la coordinación de las protecciones nos basaremos en el software CYMTCC 4.5 Rev. 13 que nos permite realizar estudios de protecciones contra sobrecorrientes en redes industriales, comerciales y de distribución eléctrica. El software cuenta con una extensa base de datos que contiene muchos dispositivos de protección de diferentes fabricantes.

5.1 Protección del Sistema de Distribución

Para los diferentes ajustes que se realizaron en este capítulo es de vital importancia los valores obtenidos en el estudio de flujo de carga y corto circuito como son las corrientes de fallas tanto máximas y mínimas así como también conocer los valores nominales de corriente de cada alimentadora.

5.2 Elementos de protección del Sistema de Distribución

5.2.1 Fusibles

Se debe tener en cuenta que en condiciones transitorias (inrush de transformadores, corriente de arranque de motores de inducción, etc.) y condiciones permanente de carga de transformadores (con posibles variaciones de hasta 200% de capacidad en los bancos auto enfriados), el transformador no sufre daño y por lo tanto el fusible debe permitir fluctuación con un margen de seguridad.

5.3 Coordinación de las Protecciones del Sistema de Distribución

5.3.1 Coordinación de Fusibles

En CNEL EP Santa Elena al igual que en el resto del país los ramales de distribución son protegidos con fusibles tipo K los mismos que cumplen las normas ANSI C37.42-1989. Las características eléctricas más relevantes de un sistema de distribución para determinar la correcta dimensión de los fusibles son: La corriente de carga, voltaje del sistema, tipo del sistema y

máxima corriente de falla en el lugar donde se ubicará tal fusible.

Según la carga instalada en cada una de las alimentadoras de la Subestación Salinas vamos a tener dos tipos de coordinación de fusibles entre 80K y 6K y entre 100K y 6K.

Para las alimentadoras Rubira, Base Militar, Interconexión, la coordinación de Fusibles se da entre los valores de 80K y 6K.

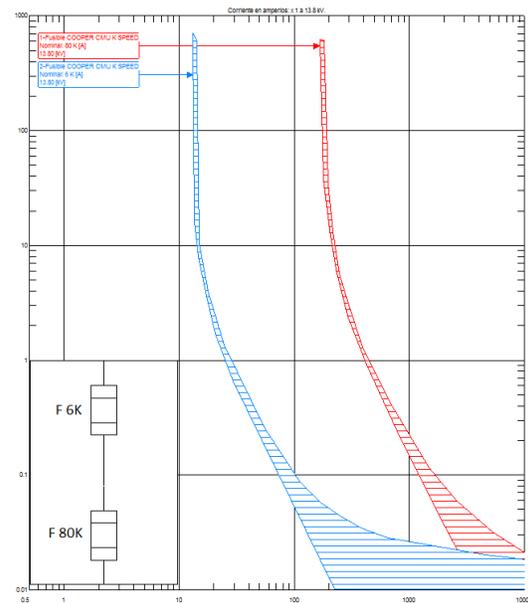


Figura 7 Selección de fusibles para Alimentadora Rubira, Base Militar, Interconexión.

Para las alimentadoras Dunas e interconexión la coordinación de fusibles se da entre los valores de 100K y 6K.

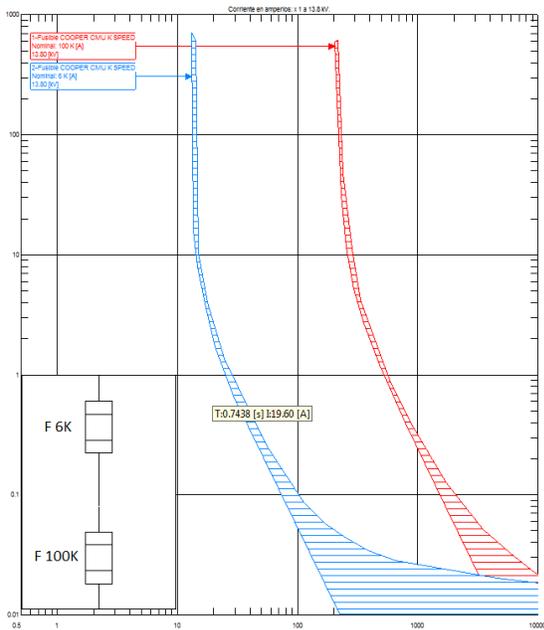


Figura 8 Selección de fusibles para alimentadora Dunas y Dobronski.

5.3.2 Coordinación de los Relés TPU 2000R y SPA J 140 EI

En la Subestación Salinas utilizaremos en relé TPU 2000R para la protección del transformador y relé SPAJ 140 EI para la protección de las alimentadoras.

5.4 Resultados de la Coordinación

Para realizar nuestra coordinación hemos aplicado los criterios de selectividad, respaldo tiempo de operación y simplicidad en cada una de las alimentadoras. En este resumen de nuestro trabajo de coordinación de protecciones vamos a mostrar los resultados de la alimentadora Dunas, que es la de mayor carga equivalente a 2461KVA.

5.4.1 Alimentadora Dunas

A continuación se muestra la coordinación de las protecciones para la alimentadora Dunas

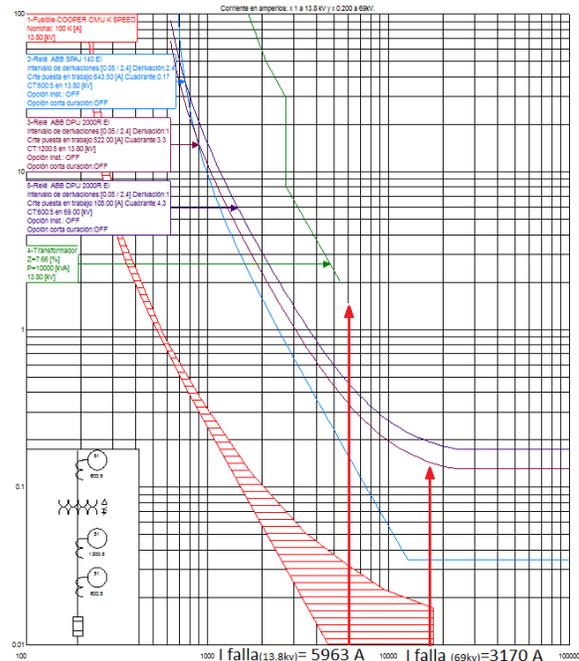


Figura 9 Coordinación Alimentadora Dunas

En la gráfica obtenida en el software CYMTCC podemos observar que para cualquier falla en una de los ramales o transformadores, primero operan los respectivos fusibles.

Las líneas de color rojo indican las máximas corrientes de falla obtenidas en el estudio de corto circuito en el lado de 13.8kV y 69kV respectivamente.

La línea color celeste corresponde a la del Relé SPAJ 140 EI la cual está ajustada de acuerdo a la carga total instalada en cada una de las alimentadoras.

Se observa que la función 51-P1 del relé en el lado de 13.8KV y la función 51-P2 lado de 69KV del transformador están por debajo de la curva de daño del transformador lo cual indica una correcta coordinación de las protecciones en pro del transformador.

5.5 Resumen de Ajuste

En la tabla 16 se muestra un resumen de los ajustes que fueron necesarios para obtener los resultados de la coordinación.

Tipo	KV	Ipri. (A)	Isec. (A)	Relación CT	I ajuste	TD
51P-1	69,00	104.59	0.876	600:5	1.05	4.3
51P-2	13.8	522.96	2.18	1200:5	2.62	3.3
50P-1	69,00	3170.73	26.4	600:5	26.4	-
50P-2	13.8	5963.55	24.85	1200:5	24.85	-
51G	13.8	52.3	0.45	600:5	0.45	-
46-1	69,00	60.66	0.51	600:5	0.51	-
46-2	13.8	303.32	1.26	1200:5	1.26	-
SPAJ-140EI RUBIRA	13.8	101.82	0.85	600:5	1.02	0.33
SPAJ-140EI DUNAS	13.8	128.7	1.07	600:5	1.29	0.17
SPAJ-140EI DOBRONSKI	13.8	123.06	1.02	600:5	1.23	0.17
SPAJ-140EI BASE MILITAR	13.8	95.5	0.79	600:5	0.96	0.33
SPAJ-140EI INTERCXION	13.8	79.75	0.66	600:5	0.80	0.33

Tabla 16. Resumen de Ajuste.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Para la coordinación de los Relés 51P-1 y 51P-2 del DPU 2000R se eligió una protección selectiva
- En caso de que accione el 51P-1(69kv) se deja sin energía al transformador de potencia, y por lo tanto toda la subestación se queda desenergizada.
- En caso de que accione el 51P-2(13.8kv) se deja al transformador de potencia sin carga, pero energizado, esto conviene por el hecho de mantener el Transformado energizado lo que evitaria la corriente inrush de arranque en el transformador.

- Siguiendo las especificaciones para los relés numericos se decidió tomar un intervalo de coordinación de 0.2 entre cada curva de los elementos de protección.
- Generalmente la CNEL Santa Elena EP utiliza disyuntores en el arranque de las alimentadoras, los cuales son accionador por medio del relé SPAJ 140EI.
- Debido a las características de carga se utilizaron los fusibles, el 80K y el 100K. Por lo tanto en la coordinación de las alimentadoras, solo se vario la corriente de puesta en trabajo del relé SPAJ 140EI.
- Para la coordinacion se tomo en cuenta que el primer elemento en actuar, en el caso de una falla proxima a la Subestacion, es el fusible de la alimentadora, acuando como respaldo el disyuntor de potencia, si estos elemento no actúan, entonces debe actuar el 51-2 del TPU 2000R y como ultimo respaldo el 51-1 del DPU 2000R

Recomendaciones

1. Debido a la obsolescencia tecnolgica y haber cumplido su vida util se recomeinda el cambio del Rele BBC por el TPU 2000R . El presente trabajo incluye la coordinacion de las protecciones considerando este cambio.
2. Al futuro proximo CNEL debera considerar el cambio de los Metaclad, los cuales tienen 25 años de servicio, con uno nuevo de tecnologia actual con doble barra, para mejorar la confiabilidad de la Subestacion.
3. La carga instalada en la Subestacion sobrepasa la capacida OA/FA de los Transformadores de la Subestaciones, por lo que deberia ser remplazado por uno de mayor capacisa 18/24 MVA

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] IEEE STD C57.12.00-2000 - Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers.

[2] IEEE STD.04-1999, IEEE Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers

[3] IEEE STD C57.109-1993, IEEE Guide for Liquid-Immersed Transformers Through-Fault-Current Duration.

[4] CNEL SANTA ELENA EP, Memoria Técnica General Subestaciones, 2010.

[5] Cooper, Electrical Distribution System Protection.

[6] Manual de Instrucciones, TPU2000R Unidad de Protección de Transformadores, ABB Inc., Edición D Diciembre 2001.

[7] ANSI C37.42-1989, Switchgear - Distribution Cutouts and Fuse Links - Specifications.

[8] John J. Grainger, Sistemas de Potencia Análisis y Diseño, Tercera Edición.

[9] Form 6 Microprocessor-Based Recloser Control Programming Guide.

[10] IEEE STD C37.112, - IEEE Standard Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays.

[11] IEEE STD. C37.91-2008, IEEE Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers.

[12] McGraw-Edison Company, Manual Overcurrent Protection for Distribution System, Power System Division.

[13] IEEE STD C37.91.2008 - IEEE Guide for Protecting Power Transformer.

[14] IEEE Std. 242-1986 – IEEE Recommended Practice for Protection and coordination of Industrial and Commercial Power Systems