



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad al servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**Estudio de coordinación de protecciones del sistema de generador-
transformador y línea de evacuación en la Unidad N°3 de la Central
Hidroeléctrica Minas – San Francisco**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTOR: CAPA CARRILLO JAVIER GERARDO

PARRALES PALADINES RICHARD FERNANDO

DIRECTOR: ING. ARIAS REYES PABLO DANILO MSc.

MATRIZ CUENCA

2018

DECLARACIÓN

Yo, Javier Gerardo Capa Carrillo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

Javier Gerardo Capa Carrillo
070638173-8

DECLARACIÓN

Yo, Richard Fernando Parrales Paladines, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

Richard Fernando Parrales Paladines

070637294-3

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los Sres. Javier Gerardo Capa Carrillo; Richard Fernando Parrales Paladines, bajo mi supervisión.

Ing. Pablo Arias Reyes MsC.

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

A Dios, y la Virgen del Cisne por haberme brindado salud y bienestar a lo largo de todos estos años con la finalidad de terminar mi carrera Universitaria en esos momentos de dificultad que tenía me ayudaste a fortalecerme para no decaer y seguir adelante a cumplir mi sueño.

A mis padres, por sus esfuerzos, que me han ayudado a lo largo de mi carrera, con consejos y valores que han logrado ser de mí una persona de bien y poder terminar uno de mis primeros he importantes logros. A mis hermanos que han estado escuchando todo mi esfuerzo que he venido realizando y han estado hay dándome consejos para poder terminar mi carrera universitaria. A toda mi familia que estuvo presente a lo largo de mis estudios.

A mi esposa y a mi hija, por haber sido pacientes y esperarme para poder terminar mis estudios ya que me ha dado su amor, y sobre todo confianza convirtiéndose para mí una persona importante en mi vida con la que pasare el resto de mi vida.

A mi compañero de tesis Parrales, quien he logrado conocer más afondo a lo largo de este estudio ya que se comportó como un verdadero amigo que estuvo involucrado en todo el trámite de tesis.

AGRADECIMIENTO

Al ser una persona con principios católicos y por creer en un Dios, esta tesis primeramente es en agradecimiento a ese Padre Celestial en quien puse toda la confianza en el transcurso del periodo universitario.

Agradezco a Dios y la Virgen María por permitirme tener con buena salud a mis familiares, amigos y a las personas que han sido directa o indirectamente participes en el desarrollo de este trabajo de investigación (tesis).

Gracias a mis padres Elia María Paladines Sánchez y Ricardo Francisco Parrales Navarrete por creer en mí, y ver recibido por parte de ellos el apoyo económico para la elaboración de este trabajo de investigación (tesis), así como para la culminación del periodo universitario. Estoy infinitamente agradecido con ellos por ayudarme continuar con la formación profesional y con la formación de ser una persona de bien, con valores y con ética humana.

También debo agradecer de manera sincera a los tutores de la Universidad y de la Unidad de Negocio ENERJUBONES, que han dado las facilidades para que esta tesis tenga su normal desarrollo y culminación. Así como las autoridades y catedráticos de la Universidad Católica de Cuenca por impartir sus enseñanzas en los diferentes salones de la Unidad Académica.

Gracias a mi compañero de tesis Javier Capa, por considerarme ser su acompañante para el desarrollo de este trabajo de investigación, quien lo estimo como un gran amigo.

A todos mis familiares y amistades que, de una u otra manera, han sido claves en mi vida universitaria. Gracias por sus palabras de aliento y paciencia que han tenido conmigo en el pasar del tiempo.

DEDICATORIA

Mi trabajo es dedicado a mi abuelita Matilde Cisnero, a mis padres Humberto Capa y Robertina Carrillo, a mi esposa Yalitza Arica, y a mi más grande amor mi hija Brianna Capa que forman para mí un pilar fundamental en mi vida.

A mis hermanos Diana, Carlos, Byron, quienes siempre han estado presentes a lo largo de mi vida.

DEDICATORIA

La vida ha ido demostrando que para conseguir los sueños personales y profesionales no es necesario aislarse de los familiares, amigos o dejar de hacer lo habitual. Que todos deben tener su propio tiempo y espacio, sin descuidar nada y nadie. Durante la realización de este trabajo de investigación y durante los años de estudio académico en la especialidad de ingeniería eléctrica he sido guiado, acompañado y apoyado por seres que valen la pena ser pronunciados.

Por ese tiempo y años invertidos en la universidad quiero dedicar este trabajo a la Santísima Trinidad (Dios Padre, Hijo y Espíritu Santo) y a la Virgen María por guiar y cuidar mi camino, a mis padres Elia María Paladines S. y a Ricardo Francisco Parrales N. por dar su apoyo emocional y económico, a mis abuelos paternos y maternos por estar pendientes de mí, a mi hermana y sobrinos por sacar sonrisas en tiempos difíciles, y a todas las personas que me dieron palabras de aliento y motivación para continuar y culminar los estudios universitarios. Y por supuesto al grupo de amigos de estudio, que nos reuníamos para realizar los distintos trabajos universitarios, que sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos e ideas.

Con todo mi cariño y afecto esta tesis es dedicada a ustedes.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Justificación.	5
1.3 Alcance.	6
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivos Específicos.	6
2. CENTRAL HIDROELÉCTRICA MINAS SAN FRANCISCO.	8
2.1 Introducción.....	8
2.2 Características Generales del Proyecto.	9
2.2.1 Obras Civiles Principales.	9
2.2.1.1 Presa.....	12
2.2.1.2 Obras de Toma.....	14
2.2.1.3 Túnel de Conducción.	15
2.2.1.4 Chimenea de Equilibrio.....	18
2.2.1.5 Tubería de Presión	20
2.2.1.6 Casa de Máquina.....	21
2.2.1.7 Canal de descarga.	22
2.2.2 Equipamiento Mecánico.	23
2.2.2.1 Turbinas Hidráulicas.	23
2.2.2.2 Clasificación de Turbinas	23
2.2.2.3 Tipo de Turbinas.....	24
2.2.2.4 Selección del tipo de turbina en la hidroeléctrica Minas – San Francisco.	25
2.2.2.5 Sistemas Auxiliares.....	26
2.2.3 Equipamiento Eléctrico.....	28
2.2.3.1 Generadores	28
2.2.3.2 Equipos Auxiliares del Generador	29
2.2.3.3 Transformadores.....	31
2.2.3.4 Sistemas de protección.....	32
2.2.3.5 Cables de potencia.	33
2.2.3.6 Subestación de Elevación.	33
2.2.3.7 Equipos misceláneos.	33
3. PROTECCIÓN DEL GRUPO GENERADOR –TRASFORMADOR Y LÍNEA DE EVACUACIÓN. 36	
3.1 Introducción a Factores de un sistema de protección.	36
3.1.1 Elementos de entrada.....	36
3.1.1.1 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE. (TC).....	36
3.1.1.2 TRANSFORMADORES DE POTECIAL. (TP).....	37
3.1.2 Relés de protección.	37
3.1.3 Elementos asociados.	40
3.1.4 Disyuntores.	41
3.1.5 Fuente Auxiliar de tensión.	41
3.2 Protección del grupo Generador- transformador.....	41

3.2.1	Protección Del Generador.....	46
3.2.1.1	Protección diferencial. (87).....	47
3.2.1.2	Protección para fallas en el 95% del estator (59GN y 51GN).....	51
3.2.1.3	Protección para fallas en el 100% del estator (27H).....	52
3.2.1.4	Protección de fallas de fases partida.....	55
3.2.1.5	Protección de desbalance de carga o de corriente de secuencia negativa. (46).....	56
3.2.1.6	Protección contra potencia inversa. (32).....	57
3.2.1.7	Relé de protección del generador por pérdida de sincronismo. (78).....	58
3.2.1.8	Protección contra pérdidas de excitación o pérdida de campo 40G.....	61
3.2.1.9	Protección contra sobre excitación del generador 24G.	63
3.2.1.10	Protección de frecuencia 81O/81U.	63
3.2.2	Protecciones de Transformador.....	64
3.2.2.1	Protección diferencial (87T).....	65
3.2.2.2	Protección Sobrecorriente. (50/51).....	66
3.2.2.3	Protección Sobrecorriente a Tierra. (50/51N).....	67
4.	software DigSILENT Power FACTORY SIMULACION y analisis.	69
4.1	Introducción DigSILENT Power Factory.	69
4.1.1	Coordinación de protecciones.....	69
4.2	SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE POTENCIA.....	70
4.2.1	Objetivo sobre el sistema de funcionamiento.....	70
4.2.2	Alcance sobre el sistema de funcionamiento.....	70
4.2.3	Desarrollo del estudio.....	70
4.2.3.1	Datos.	70
4.3	Software de simulación.....	74
4.3.1	Modelación en DigSilent Power Factory V14.1	74
4.3.2	Simulación de flujo de carga y niveles de voltaje.	75
4.3.2.1	Perdida línea Machala-Minas San Francisco (230kV).	76
4.3.3	Simulación de fallas y cortocircuito.	77
4.3.3.1	Características de la protección distancia.....	78
4.4	Estudio y simulación de flujo de potencia.	79
4.4.1	Criterios para el ajuste de la función 51 y 51n en los transformadores de la subestación San Francisco.....	79
4.4.1.1	Línea Milagro- Minas San Francisco (230kV)	79
4.4.1.2	Línea Machala-San Francisco (230kV)	83
4.4.1.3	Barra San Francisco (13.8 kV).....	88
4.5	Principales objetivos sobre los relés del generador	88
4.5.1	Documentos entregados por parte de UNIDAD DE NEGÓCIO CELEC EP ENERJUBONES.	89
4.5.2	Resumen descriptivo del sistema en la central.	89
4.5.3	SISTEMAS DE PROTECCIÓN SIFANG.....	90
4.5.3.1	Relé de Protección de Generador – CSCC-306.....	90
4.5.3.2	Relé de Protección de Transformador – CSC-326.....	91
4.5.3.3	Relé de Protección de Línea Corta – CSC-103	91
4.5.4	Datos técnicos de los equipos.	92
4.5.5	Calculo de valores de cortocircuito.	93
4.5.6	Protección de los generadores.....	93
4.5.6.1	Protección de Potencia Reversa y Sobre Potencia (32)	93

4.5.6.2	Protección de Falla del Campo (F 40).	94
4.5.6.3	Protección Térmica de Secuencia Negativa (46)	95
4.5.6.4	Protección de Respaldo del Sistema (21).	97
4.5.6.5	Protección Falla a Tierra en el Estator 95% (Residual O/V - 59N)	97
4.5.6.6	Protección de Sobreexcitación - V/Hz (24)	98
4.5.6.7	Deslizamiento de pólos (Pole Slipping -78)	99
5.	<i>CALIBRACIÓN Y COORDINACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIONES DEL GENERADOR-TRANSFORMADOR Y LÍNEA DE EVACUACIÓN DE LA UNIDAD #3 DE LA HIDROELÉCTRICA MINAS SAN FRANCISCO</i>	102
5.1	Esquema del sistema de protección.	102
5.1.1	COORDINACIÓN DE PROTECCIONES	103
5.2	Protecciones del generador- transformador y línea de evacuación de la unidad #3 de la hidroeléctrica Minas San Francisco.	103
6.	<i>CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN.</i>	111
6.1	Conclusión.	111
6.2	Recomendación.	112
6.3	Bibliografía.	113

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Esquema General de Obras Minas – San Francisco.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2 Esquema de Diseño Definitivo de la central hidroeléctrica Minas-San Francisco.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3 Embalse de la Hidroeléctrica Minas San Francisco.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 4 Embalse al pie de presa de la Hidroeléctrica Minas San Francisco.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 5 Presa de la central hidroeléctrica Minas-San Francisco</i>	<i>14</i>
<i>Figura 6 Obra de toma</i>	<i>15</i>
<i>Figura 7 Túneles de conducción de tipo abierto</i>	<i>16</i>
<i>Figura 8 Túneles de conducción de tipo presión.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 9 Máquina tuneladora (TBM).</i>	<i>18</i>
<i>Figura 10 Chimenea de equilibrio en construcción de la hidroeléctrica Minas San Francisco.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 11 Tubería de Presión</i>	<i>20</i>
<i>Figura 12 casa de máquinas.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 13 Canal de descarga.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 14 Turbina Peltón de la Hidroeléctrica Minas San Francisco.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 15 Parámetros generales para la selección de turbinas.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 16 Casa de máquinas, el edificio de administración, el edificio de servicios</i>	<i>27</i>
<i>Figura 17 Unidad N° 3 sin la cubierta superior.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 18 Unidad N° 3 en armado de la cubierta superior.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 19 Unidad N° 3 con la cubierta superior.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 20 Caverna de transformadores elevadores.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 21 Tableros de servicios auxiliares.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 22 protecciones en marca SIFANG CSC-211, CSC-306GZ.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 23 Protección en marca SIFANG CSC-103.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 24 Protección en marca SIFANG CSC-336C.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 25 Protección en marca SIFANG CSC- 326.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 26 Protección del grupo Generador- transformador.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 27 Protección diferencial</i>	<i>48</i>
<i>Figura 28 Protección diferencial porcentual</i>	<i>49</i>
<i>Figura 29 Característica de operación de un relé diferencial porcentual</i>	<i>49</i>
<i>Figura 30 Esquema diferencial a tierra (87GN).....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 31 Protección para fallas en el estator (59GN y 51GN).....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 32 Nivel armónico en diferentes condiciones del generador en condiciones de operación: a) Operación Normal.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 33 Nivel armónico en diferentes condiciones del generador en condiciones de operación: b) Falla en el Neutro.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 34 Nivel armónico en diferentes condiciones del generador en condiciones de operación: c) Fallas en Terminales.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 35 Esquema de protección de protección de falla a tierra de bajo tensión de tercer armónico .</i>	<i>54</i>
<i>Figura 36 Protección de fallas de fases partida o fallas entre espiras de un mismo devanado del estator.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 37 Corriente en la superficie del rotor</i>	<i>56</i>
<i>Figura 38 Relé de sobrecorriente de tiempo de secuencia negativa.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 39 Protección contra potencia inversa (32)</i>	<i>58</i>
<i>Figura 40 Ubicación de Conexión de un relé de distancia tipo Mho (78).....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 41 Calibración del relé de distancia tipo Mho (78) para detectar oscilaciones por pérdida de sincronismo.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 42 Curva de capacidad del generador n° 3 de la Hidroeléctrica Minas San Francisco.</i>	<i>61</i>

Figura 43 Diagrama de operación normal y anormal del relé de pérdida de campo según el cuadrante	62
Figura 44 Característica contra pérdida de campo tipo Mho desplazado.	62
Figura 45 Protección contra sobreexcitación 24.	63
Figura 46 Protección diferencial 87 T	66
Figura 47 Esquema de protección de sobre corriente.	68
Figura 48 diagrama unifilar de la topología sobre zonas de MILAGRO 230KV – MINAS SAN FRANCISCO; MACHALA230 KV – MINAS SAN FRANCISCO	71
Figura 49 Red Modelada Zona Milagro-Minas San Francisco- Machala.	74
Figura 50 Zona Minas San Francisco.	74
Figura 51 Demanda Máxima (Tres generadores).	75
Figura 52 Demanda Máxima (Dos generadores).	75
Figura 53 Demanda Máxima (Un generador)	76
Figura 54 Pérdida línea Machala-San Francisco	76
Figura 55 Fallas Monofásicas en las barras Zona Milagro- Minas San Francisco.	77
Figura 56 Fallas Trifásicas en las barras Zona Milagro- Minas San Francisco.	77
Figura 57 Diagrama unifilar básico sobre un SEP.	78
Figura 58 Zona de protecciones de distancia.....	78
Figura 59 Falla Trifásica al 80% (Zona 1).....	80
Figura 60 Relé R1 (mira de Milagro a Minas San Francisco)	80
Figura 61 Relé R2 (mira de Machala a Minas San Francisco)	81
Figura 62 Relé RLI1, RLI2, RLI3 (en la barra de Minas San Francisco, protección de los transformadores).	81
Figura 63 Falla Monofásica al 95% (Zona 2).....	82
Figura 64 Relé R1 (mira de Milagro a Minas San Francisco)	82
Figura 65 Relé R2 (mira de Machala a Minas San Francisco)	83
Figura 66 Relé RLI1, RLI2, RLI3 (en la barra de Minas San Francisco, protección de los transformadores).	83
Figura 67 Falla Trifásica al 80% (Zona 1) Línea Machala-San Francisco (230kV).....	84
Figura 68 Relé R2 (mira de Machala a Minas San Francisco) Línea Machala-San Francisco (230kV)	84
Figura 69 Relé R1 (mira de Milagro a Minas San Francisco) Línea Machala-San Francisco (230kV)..	85
Figura 70 Relé RLI1, RLI2, RLI3 (en la barra de Minas San Francisco, protección de los transformadores), Línea Machala-San Francisco (230kV).....	85
Figura 71 Falla Monofásica al 95% (Zona 2) Línea Machala-San Francisco (230kV).....	86
Figura 72 Relé R2 (mira de Machala a Minas San Francisco) Línea Machala-San Francisco (230kV) zona 2	86
Figura 73 Relé R1 (mira de Milagro a Minas San Francisco) Línea Machala-San Francisco (230kV) zona 2	87
Figura 74 Relé RLI1, RLI2, RLI3 (en la barra de Minas San Francisco, protección de los transformadores), Línea Machala-San Francisco (230kV) zona 2	87
Figura 75 Falla Trifásica en la barra.....	88
Figura 76 Relé RLI1, RLI2, RLI3 (en la barra de Minas San Francisco, protección de los transformadores), Barra San Francisco (13.8 kV)	88
Figura 77 Croquis Simplificado del Sistema de Protección aplicado en la Central de San Francisco. .	92
Figura 78 Diagrama basados de la IEC 6034-1	96
Figura 79 Características a tiempo definido con 1 nivel de detección de alarma y 1 nivel de desenganche.....	98
Figura 80 Esquema del sistema de protecciones del generador- transformador y línea de evacuación de la unidad #3 de la Hidroeléctrica Minas San Francisco.	102

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Datos de placa del Generador de la unidad N°3.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 2 datos de placa para el transformador de la unidad N° 3.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 3 datos de la línea de transmisión.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 4 datos de los transformadores respecto a potencia, voltaje, TAP.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 5 datos de los transformadores respecto a impedancia y reactancia.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 6 Ajuste de los relé 51y 51n.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 7 Cálculo de secuencia negativa de los Generadores se aplica con la Norma IEC 60034-1.</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 8 Cálculo para el transformador de corriente.....</i>	<i>103</i>

LISTA DE ANEXOS

<i>ANEXO 1 Transformador puesta a tierra del neutro Unidad 03</i>	<i>114</i>
<i>ANEXO 2 Modelo del transformador puesta a tierra del neutro u03 con su respectiva placa.....</i>	<i>115</i>
<i>ANEXO 3 Topología de análisis de coordinación de protecciones eléctricas zona Milagro-Minas San Francisco – Machala 230 kv junio 2017.....</i>	<i>116</i>
<i>ANEXO 4 Esquema eléctrico de líneas única de minas Hydro Powerstation.....</i>	<i>117</i>
<i>ANEXO 5 Diagrama esquemático del sistema de protección del GENERADOR-TRANSFORMADOR</i>	<i>118</i>
<i>ANEXO 6 Diagrama esquemático del sistema de protección de la subestación 230Kv.....</i>	<i>119</i>
<i>ANEXO 7 Curva de capacidad de los generadores.....</i>	<i>120</i>
<i>ANEXO 8 BARRIDO CORTOCIRCUITO L/T MILAGRO – MINAS SAN FRANCISCO 230 KV En servicio las 3 Unidades de la Central Minas San Francisco</i>	<i>121</i>
<i>ANEXO 9 Barrido cortocircuito l/t Minas San Francisco – Machala 230 kv 3 unidades de la central minas san francisco despachadas</i>	<i>121</i>

GLOSARIO DE TÉRMINOS

SEP: Sistema Eléctrico De Potencia.

IEDs: Dispositivo Electrónico De Potencia.

SIN: Sistema Nacional Interconectado

V: Tensión

Hz: Frecuencia

TN: Transformador A Tierra

G: Generador

T: Transformador

U: Unidad (en este caso se habla del generador y transformador)

m: metros

Mw: Megavatios

Gwh: Gigavatio – Hora

Rpm: Revoluciones Por Minutos

SP: Sistema De Potencia

TC: Transformador De Corriente

TP: Transformador De Potencia

Tcf: Tiempo total de limpieza

Trelay: Tiempo De Disparo Del Rele

Tbrk: Tiempo De Disparo Del Interruptor

Ts: Tiempo De Arranque

T_{set}: Tiempo Ajustado

I_{pset}: Rango De Corriente Ajustado

I_{min}: Corriente de arranque

I_a: Corriente nominal

I_p: Corriente De Magnetización (Inrush)

t_{inrush}: Duración De La Corriente Inrush

t_{cold}: Limites Térmicos Bajo Condiciones Frías

t_{hot}: Limites Térmicos Bajo Condiciones calientes

I_{thr} : Corriente de cortocircuito

T_{kr} : Periodo Nominal (Is)

T_k : Tiempo De Liberación De La Falla

s.n.m.: sobre el nivel del mar

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo principal el planteamiento de datos para la coordinación de las protecciones eléctricas que se tienen tanto para el generador eléctrico; transformador de potencia; y, línea corta de la unidad N° 3 de la hidroeléctrica Minas San Francisco CELEC- EP, con la finalidad de precautelar los equipos que intervienen en una unidad de generación, y no dejar fuera de servicio a dicha unidad.

Por tal motivo, se realizó la recopilación de datos, para obtener la información necesaria y poder determinar el estudio de manera eficaz, desarrollando la coordinación de protecciones mediante una simulación en el Software Power Digsilent.

El estudio se desarrolló en etapas; que conlleva a realizar cálculos mediante datos obtenidos, y con la aplicación del Software Power Digsilent se efectuó la simulación con datos del Sistema Nacional Interconectado (SNI) para establecer la hoja de cálculo final.

Palabras claves: PROTECCIONES ELÉCTRICAS, GENERADOR ELÉCTRICO, TRANSFORMADOR DE POTENCIA, SOFTWARE POWER DIGSILENT

ABSTRACT

The main objective of this study is to present data for the coordination of electrical protections for the electric generator; power transformer; and, short line of unit N°3 of the hydroelectric plant Minas San Francisco CELEC-EP, with the purpose of protecting the equipment that intervenes in a generation unit, and not leaving the unit out of service.

For this reason, the data collection was done, to obtain the necessary information and to be able to determine the study in an efficient way, developing the coordination of protections through a simulation in the Power Digsilent Software.

The study was developed in stages; which leads to calculations using data obtained, and with the application of the Power Digsilent Software, the simulation was performed with data from the National Interconnected System (SNI in Spanish) to establish the final calculation sheet.

Keywords: ELECTRIC PROTECTION, ELECTRICAL GENERATOR, POWER TRANSFORMER, POWER DIGSILENT SOFTWARE

CAPITULO 1

1. INTRODUCCION

La energía eléctrica ha sido una prioridad para el ser humano para satisfacer sus necesidades diarias y además para desarrollarse tecnológicamente en estos tiempos. Los avances también involucran seguridad y confiabilidad al suministro de energía eléctrica y por ende se requiere de un desarrollo tecnológico en el Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) que comprende desde su generación, transmisión, subtransmisión y distribución de la energía eléctrica.

Para dar continuidad al servicio de energía eléctrica a los usuarios, se desarrollan y diseñan sistemas de protecciones eléctricas en el SEP el cual ha evolucionado desde las protecciones electromecánicas hasta los IEDs (Dispositivos Electrónicos Inteligentes). Los IEDs reciben señales por medio de sensores o dispositivos eléctricos que permiten detectar con anticipación irregularidades en la red accionando o limitando dispositivos eléctricos para mantener estable al Sistema Eléctrico de Potencia, estos IEDs también ayudan alertar a los operarios de anomalías en la red eléctrica y así evitar un colapso en el SEP.

Los IEDs incluyen varios relés de protección gracias a la tecnología de microprocesadores que contienen y de esa manera realizan el respectivo control y protección del SEP.

Al Sur del Ecuador entre las provincias de El Oro y Azuay se ubica la Central Hidroeléctrica Minas – San Francisco, la cual usa dispositivos de protección IEDs para la seguridad de operatividad de su Generación y Transportación de la Energía Eléctrica. El grupo operativo que comprende: Generador, Transformador y Línea de Evacuación de la Unidad N°3 de la Central Hidroeléctrica será la delimitación del estudio e investigación para la Coordinación del Sistema de Protecciones, donde dicho límite de coordinación servirá de sugerencia o alternativa para la programación de los IEDs de del grupo operativo generador, transformador y línea.

Los IEDs (con sus funciones de relés de protección) sirven para proteger y respaldar al Sistema Eléctrico de Potencia de perturbaciones y fallas eléctricas como Cortocircuitos, Sobrecorrientes, Sobretensiones, Oscilaciones y errores producidos por el ser humano o la propia naturaleza de la red eléctrica y así mantener la continuidad en el servicio eléctrico y cumplir con la normativa de calidad de la energía eléctrica que se debe brindar a los usuarios.

Entre las características que deben cumplir la coordinación del Sistema de Protecciones están: confiabilidad, sensibilidad, selectividad, velocidad o rapidez, simplicidad y Factor Económico. Al tener y cumplir las características anteriores se está buscando un sistema estable que actúe con rapidez y que simplifique el espacio que presente anomalías y así evitar un deterioro de los dispositivos y equipos eléctricos los cuales pueden producir un alto costo para la empresa.

Este estudio tiene como finalidad sugerir los ajustes de coordinación de las funciones de protección de los relés en los IEDs (Dispositivos Electrónicos Inteligentes) en el generador, transformador y línea de evacuación de la Unidad N°3 de la Central de generación hidroeléctrica Minas – San Francisco.

1.1 Antecedentes.

La generación de energía eléctrica no solo consiste en transformar alguna clase de energía (química, cinética, nuclear, solar, eólica, entre otras) en electricidad, sino que también consiste en mantener en operación normal a la central de generación eléctrica y evitar que se produzcan errores internos o externos en el sistema eléctrico de potencia.

Por ello es necesario dar seguridad y confiabilidad al SEP por medio de dispositivos de protección eléctrica que ayuden a la continuidad del servicio eléctrico y evitar pérdidas económicas por interrupción del servicio eléctrico o por daño de algún equipo eléctrico de la central generadora.

Una central hidroeléctrica usa la energía cinética o el movimiento del agua para transformarla en energía eléctrica, esta es considerada una central de energía renovable por usar el agua, la cual es una fuente natural virtualmente inagotable. El desarrollo de este trabajo de investigación es en la Central Hidroeléctrica Minas – San Francisco en responsabilidad de la Unidad de Negocio de ENERJUBONES EP, creada por CELEC EP. La central hidroeléctrica Minas – San Francisco cuenta con una Presa de tipo Gravedad en hormigón rodillado con una altura de 54m desde la cota actual del fondo del río.

Esta central hidroeléctrica cuenta con un túnel de conducción, una chimenea de equilibrio, tubería de presión, canal de descarga y una casa de máquinas ubicada subterráneamente la cual cuenta con tres turbinas tipo Pelton. La central contará con tres unidades generadoras a 13.8KV, donde cada unidad contará con un transformador elevador a 230KV y la línea de evacuación se conecta a una subestación de interconexión.

En la unidad N°3 que consta del Generador, Transformador y Línea de Evacuación se debe dar coordinación de protecciones eléctricas adecuadas, donde no permita

disparos innecesarios en nuestro SEP y esta misma de una protección confiable en condiciones altamente dañinas. El trabajo investigativo será parte de dar una adecuada coordinación de las protecciones eléctricas en condiciones anormales como en cortocuito y sobrecorriente en la Unidad N°3 del Generador, Transformador y Línea de Evacuación de la Central Hidroeléctrica Minas – San Francisco.

El CENACE es la entidad que está a cargo de mantener una operación coordinada en tiempo real del Sistema Nacional Interconectado (SNI) y es la encargada de hacer respetar los valores preestablecidos del voltaje, frecuencia y la carga en términos correctos para que no exista un colapso del SNI.

Las protecciones eléctricas ayudan a proporcionar el aislamiento de la falla en un área determinada y así dar respaldo y continuidad al resto del sistema sin producirse una interrupción general. Al contar con relés de protección estas solo entran en funcionamiento cuando detectan condiciones anormales y minimizan los daños a equipos fallados, como en reducir el tiempo y costo de interrupción.

Para analizar el comportamiento de las protecciones eléctricas que se tienen en la Unidad N°3 de la Central Hidroeléctrica Minas - San Francisco se simulara por medio de un software y se aplicara condiciones anormales en cortocircuito tanto para fallas trifásicas como monofásicas.

Un estudio de coordinación de protecciones, ayuda a la selección y al cálculo para los diferentes tipos de protecciones que se tiene en un grupo generador –transformador y línea de evacuación para ello se estudia los esquemas, equipos y procedimientos que se debe ejecutar para una protección eficaz, con una finalidad, la de realizar la simulación digital utilizando el programa DigSilent y así poder determinar los estudios de coordinación de protección, utilizando datos reales.

Es conveniente tener conocimiento sobre el generador síncrono, debido que presenta mayor condición anormal de operación. Para ello es necesario que el generador quede fuere de servicio ante una anomalía y no se afecte dicha máquina.

Las protecciones del generador son necesarias por los diferentes tipos de fallas que se tiene entre las más comunes son de cortocircuito que son detectadas por la protección diferencial (87) o relé de sobre corriente (51). Y entre las protecciones principales para fallas de cortocircuito en condiciones de operación anormales tenemos: utilizando la nomenclatura ANSI.

1. Relé de distancia (21):

Esta protección actúa cuando la admitancia, impedancia o reactancia del circuito de protecciones decrece o incrementa los límites preestablecidos.

2. Sobreexcitación (24):

Es el encargado de la relación entre V/Hz (tensión /frecuencia) excede un valor asignado.

3. Relé de Potencia inversa (32):

Su funcionalidad es sobre un valor de potencia asignado en una sola dirección o sobre la inversión de potencia.

Protección de desbalance de corriente de secuencia negativa para el generador (46):

Este relé actúa cuando las corrientes polifásicas (varias fases) se encuentran en secuencia inversa o desbalanceadas o contienen un elemento de secuencia negativa.

4. Relé de sobre corriente (51V):

Tiene como finalidad actuar en un tiempo inverso o de tiempo establecido su función consiste cuando la corriente de un circuito de c. a. sobrepasa un valor ya establecido.

5. Protección de sobretensión (59):

Su funcionalidad es de actuar solo con valor asignado de sobretensión.

6. Protección de Frecuencia anormales (81):

Actúa con un valor dado de la frecuencia o por la velocidad de variación de la frecuencia.

7. Relé diferencial (87G)

Tiene como finalidad de actuar por porcentaje o ángulo de fase u otra cantidad eléctrica de dos intensidades, en este caso sirve como una protección primaria de fallas de fases.

8. Las principales protecciones del transformador por fallas se tienen: la elevación de temperatura del aceite, protecciones sobrecargas, protección de cortocircuito y en condiciones de operación anormal.

9. Relé de respaldo del transformador contra fallas a tierra. (51TN):

Actúa como un respaldo de falla a tierra que se tiene en el transformador.

10. Relé de presión de gas, líquido o vacío (63):

Tiene como finalidad de actuar solo con valor dado de presión del líquido o gas en una determinada velocidad de variación de presión.

11. Relé de nivel líquido o gaseoso (71):

Tiene como funcionalidad de mantener un solo valor dado de niveles ya sea líquido o gaseoso.

12. Relé diferencial del transformador (87T):

Sirve como de las principales protecciones que tiene el transformador.

13. Relé diferencial de generador transformador (87U):

Es utilizado con una sola finalidad de proteger al generador y transformador en tal caso no actué las protecciones principales ya sea del transformador como del generador.

1.2 Justificación.

Realizar el estudio con el propósito de desarrollar un modelo eléctrico con sus respectivos equipos de protecciones y potencia para el generador -transformador y línea de evacuación de la central hidroeléctrica Minas - San Francisco donde se puedan proteger principalmente la integridad de los equipos, debido que si alguna falla o evento que se llegara a presentar durante la operatividad de los mismo pueden ocasionar pérdidas irreparables.

Analizar mediante cálculos y simulación los valores de la tensión, Corriente, Potencia, Impedancia, perdidas, niveles de tensión, curva de capacidad, es decir flujos de potencia activa y reactiva en el sistema generador –transformador y línea de evacuación de la unidad #3 de la central hidroeléctrica Minas San Francisco.

Estos valores podrían ser tomados en cuenta luego de un mantenimiento rutinario y ser incorporados a los relés de protección tanto del generador eléctrico como la del transformador de potencia y línea de evacuación, donde se analizarán los ángulos fasoriales y relación de transformación de los diferentes dispositivos de medición y protección asociados a los equipos que se requiere proteger.

Mediante este estudio, luego de ser analizados y simulados, se pretende ofrecer un rango de valores óptimos que pueden ser programados en dichos relés existentes, o a la vez estos valores ser utilizados como una guía paralela a la existente en caso de existir anomalías en uno de los relés de protección, una vez puesta en marcha la unidad de la central.

1.3 Alcance.

El estudio que se realizara es para obtener datos y simulación sobre una eficaz coordinación de protecciones tanto para el generador eléctrico, transformador de potencia y línea corta en la central Minas San Francisco de la unidad N°3 cuyos datos también servirán como referencia para las dos unidades existentes.

Este tema consiste en un sistema de ayuda para determinar los fallos que presenta una hidroeléctrica mediante la simulación, sirve de apoyo a la vez cuando exista un mantenimiento y toca de verificar el Dial y el Tap de cada relé utilizando el cuadro de dialogo que se obtendrá en el estudio.

Mediante el estudio se verificará los flujos de potencia que se tiene en el sistema, con la finalidad de establecer las condiciones de operación normal tanto de tensión, potencia y corriente. También se considerará un estudio de cortocircuito.

El ajuste de coordinación que se obtendría se utilizara como datos disponibles para una guía de coordinación de las protecciones existentes en la Hidroeléctrica Minas San Francisco.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General

Conocer los parámetros de protecciones eléctricas; tanto del generador eléctrico, transformador de potencia y línea de evacuación, de la unidad No. 03.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Estudio de flujos de potencia para analizar las condiciones de operación del generador- transformador y línea de evacuación en la unidad #3 de la hidroeléctrica Minas San Francisco.
- Estudio de cortocircuitos para obtener los parámetros y las características de las funciones de protección.
- Determinar las características, valor nominal y ajuste de los dispositivos de protecciones de generador- transformador y línea de evacuación en la unidad #3 de la hidroeléctrica Minas San Francisco.
- Simular eventualidades y diagnosticar las condiciones de operación del sistema de protecciones.

- Establecer las funciones de protección a emplear en los generador-transformador y línea de evacuación de la unidad #3 de la hidroeléctrica Minas San Francisco.

CAPITULO 2.

2. CENTRAL HIDROELÉCTRICA MINAS SAN FRANCISCO.

2.1 Introducción.

El Ecuador busca garantizar el abastecimiento del servicio eléctrico con eficiencia, calidad, continuidad y seguridad en el Sistema Nacional Interconectado mediante la implementación del Plan Maestro de Electrificación (2012 – 2021) que incluye la participación de generación, transmisión y distribución eléctrica del país. (Electricidad, 2013)

En el sector de generación eléctrica se está incluyendo nuevas centrales de generación hidroeléctrica al Sistema Nacional Interconectado para abastecer la demanda eléctrica del país a un largo plazo. La central hidroeléctrica Minas – San Francisco es parte del Plan Maestro del país que aportara con 275MW de potencia y que alojara tres turbinas tipo Pelton de 91.66MW cada una.

La central hidroeléctrica es un tipo de energía renovable ya que no usan combustibles fósiles que puedan afectar al medio ambiente, estas centrales aprovechan la energía potencial o cinética del agua para convertirla en energía eléctrica a través del movimiento de turbinas (energía mecánica). (A. & Brabo lopez, 2016)

El país es un territorio que contiene grandes recursos hídricos y para la generación eléctrica se consideró la utilización de estos recursos hídricos. Estos proyectos hidroeléctricos tienen un costo bajo de operación, pero no en su construcción ya que su costo es bastante alto. Entre las ventajas de las hidroeléctricas es que tienen una gran facilidad de maniobra, no usan combustibles, el costo de la energía eléctrica producida es bajo, para la operación se necesita poco personal, tienen una larga vida de utilidad, permiten el uso múltiple del agua (riego, control de inundación), además tiene un bajo consumo de energía en servicios propios, entre otros. (Juárez, 1992)

Las centrales hidroeléctricas también tienen desventajas como son el desplazamiento de personas y animales a partes altas, acumulación de sedimentos en el embalse, inundaciones de tierras productivas que se encuentran cerca de la represa, etc.

La central hidroeléctrica Minas – San Francisco se encuentra ubicado al sur del país entre las provincias de Azuay y El Oro, cantones Pucará, Zaruma y Pasaje. La central Minas – San Francisco consta de una presa tipo gravedad ubicada en el sector aledaño a la confluencia de los ríos Jubones y San Francisco, obra de toma, túnel de desvío, túnel de conducción, chimenea de equilibrio, tubería de presión, casa de máquinas que

es subterránea y alojara tres turbinas tipo Pelton y tres transformadores, una subestación eléctrica ubicada al exterior en el sector de Gramalote y el canal de descarga. (Rios & Troncoso, 2011)

La hidroeléctrica Minas – San Francisco aportara al país con 275MW de potencia, aprovechando para su generación el caudal del Rio Jubones con un medio anual de 48.26 m³/s y alojara en la casa de máquinas (subterránea) tres turbinas tipo Pelton de 91.66MW cada una y la generación eléctrica aportara con una energía media de 1290 GWh/año, reduciendo CO₂ en 0.51 millones de Ton/año aproximadamente. (ECUADOR, s.f.)

2.2 Características Generales del Proyecto.

Para la selección de una central hidroeléctrica esta deberá estar acondicionada según las características del terreno en donde serán emplazadas, como también debe considerarse el nivel de caudal del rio o los ríos que se van a aprovechar para la generación. Para el tipo de hidroeléctrica se muestra el terreno en la Figura 1.

Entre las características generales del proyecto Minas – San Francisco se la dividió en tres partes que son las obras civiles principales, el equipamiento mecánico y el equipamiento eléctrico; esto es para la facilidad de comprender el diseño y estructura de la central Minas – San Francisco.

2.2.1 Obras Civiles Principales.

Las especificaciones de las obras civiles estarán directamente relacionadas con el tipo de topografía del terreno que se tenga, como también influenciara en la selección del tipo de maquinaria que se va a usar para la construcción de la central hidroeléctrica.

Para la construcción de las obras civiles principales de la Central Minas – San Francisco se consideró el tipo de topografía del terreno, esta comprende de una presa, obra de toma, tubería de conducción, chimenea, tubería de presión, casa de máquinas y túnel de descarga. En la siguiente Figura 2 se muestra las obras civiles principales.

Esquema Minas - San Francisco

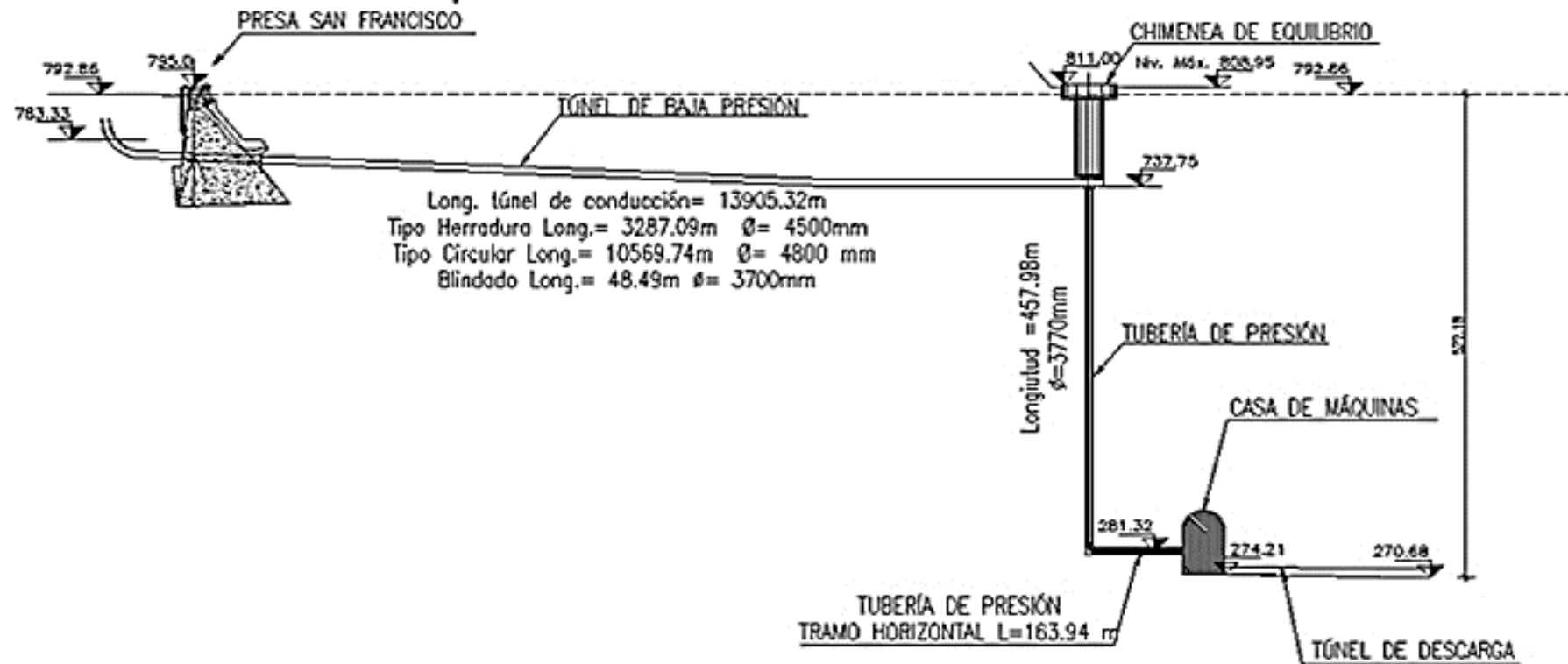


Figura 2 Esquema de Diseño Definitivo de la central hidroeléctrica Minas-San Francisco
 Fuente: CELEC- EP ENERJUBONES.

2.2.1.1 Presa

Para la construcción de una central hidroeléctrica de importancia es necesario tener una presa para contener el agua y formar un embalse, y este ayude regular el gasto y nivel del agua de la central. Al tener una presa en la central esto permite aprovechar la energía potencial o cinética del agua para convertirla en energía eléctrica. En la siguiente figura se muestra el embalse de la Hidroeléctrica Minas San Francisco.



Figura 3 Embalse de la Hidroeléctrica Minas San Francisco.
Fuente: propia

La presa de una central puede ser uso para varias actividades que benefician al ser humano como proporcionar agua para riego, control a posibles inundaciones, generación de energía eléctrica, almacenamiento de agua en momento de sequía, permiten a la navegación y producción de peces. Para la construcción de una presa es necesario determinar el tipo de cortina que se va usar según la topología del terreno y la cantidad de agua a almacenar, mientras más alta sea la cortina de la presa mayor será el volumen del agua en el embalse. La presa que tiene mejores condiciones es la que ocupa menos terreno a inundarse, pero que tenga la mayor profundidad posible.

La cortina de una presa o embalse están clasificadas en dos grupos que son:

Cortinas de materiales locales.

Cortinas de concreto y concreto armado.

Las cortinas de materiales locales están compuestas por materiales de la misma zona o sector existente y estas están conformadas por las cortinas de tierra y cortinas de piedra.

En las cortinas de concreto y concreto armado están conformadas por cortinas gravitacionales, cortinas de arco y arco múltiple, cortinas de contrafuertes. En la siguiente figura se muestra como está el embalse al pie de presa.



Figura 4 Embalse al pie de presa de la Hidroeléctrica Minas San Francisco
Fuente: propia

En la central hidroeléctrica Minas – San Francisco la presa está conformada por una cortina de tipo gravitacional que está compuesta de hormigón rodillado, este tipo de cortina se caracteriza por ser de masa grande y su estabilidad se debe a su peso.

En este tipo de cortina tiene aparecer grandes fuerzas de fricción donde no permite el desplazamiento de la cortina por la acción de la presión del embalse. En la siguiente figura se muestra como está la presa hidroeléctrica Minas - San Francisco



Figura 5 Presa de la central hidroeléctrica Minas-San Francisco
Fuente: propia

La presa de la central hidroeléctrica Minas – San Francisco tiene una altura de 54m medida desde la cota actual del fondo del río. La estructura principal de la presa se encuentra aguas abajo del río Jubones y San Francisco, tiene un cimacio de perfil tipo Creager con desarrollo parabólico, para el vertido de los caudales de excedencias. Al pie de la presa tiene una estructura de salto tipo esquí para evitar la corrosión y desgaste del suelo. (Rios & Troncoso, 2011)

2.2.1.2 Obras de Toma

Las obras de toma en una hidroeléctrica sirven para alimentar la tubería de presión y abastecer de agua a las turbinas de la central hidroeléctrica, estas obras de toma pueden estar integradas con las otras obras o pueden ser independientes de estas. Las obras de toma pueden clasificarse en dos que son:

Obras de toma de superficie

Obras de toma de profundidad

Las obras de toma de superficie se pueden dividir en obras de toma nivel constante y en nivel variable.

La característica de la obra de toma de profundidad es que al tener una presa con mayor volumen de agua esta tendrá una mayor profundidad que permite que los arrastres de basura o sedimentos sean casi nulos en la obra de toma. Pero en aquellas presas que contienen poco volumen de agua la obra de toma se verá perjudica con basura y sedimentos por la poca profundidad que se tiene.

Entre los principales elementos de las obras de toma de profundidad se tiene:

Rejilla para la contención de basura

Cámara de compuertas

Mecanismos de limpieza de las rejillas, etc. (Juárez, 1992)

La obra de toma de la central hidroeléctrica Minas – San Francisco está ubicada al margen derecho del río Jubones. Consta de una rejilla con una sección de 11,48 x 7,20m inclinada y está conectada directamente a la cámara de compuerta y al túnel de carga con un diámetro de 4,50m. En la siguiente figura se muestra la obra de toma o túnel de carga.



Figura 6 Obra de toma
Fuente: Propia

2.2.1.3 Túnel de Conducción.

El conjunto de obras que son encargadas de llevar el agua desde la obra de toma hasta la turbina se la denomina “conducción hidráulica”. La conducción hidráulica, según el tipo de la central hidroeléctrica, comprende un conjunto de elementos que son:

- Obra de derivación (túnel de conducción)
- Pozo de oscilación o chimenea de equilibrio
- Tubería de presión de la turbina
- Canal de descarga o desfogue, etc.

Los túneles de conducción pueden ser abiertos o a presión:

Los túneles de conducción de tipo abierto son aquellas que el agua no ocupa el total de la sección por lo que a lo largo del túnel en la superficie del agua se tiene presión atmosférica y no sufren de grandes presiones internas. Este tipo de túneles tienen un menor costo en comparación de los túneles a presión.

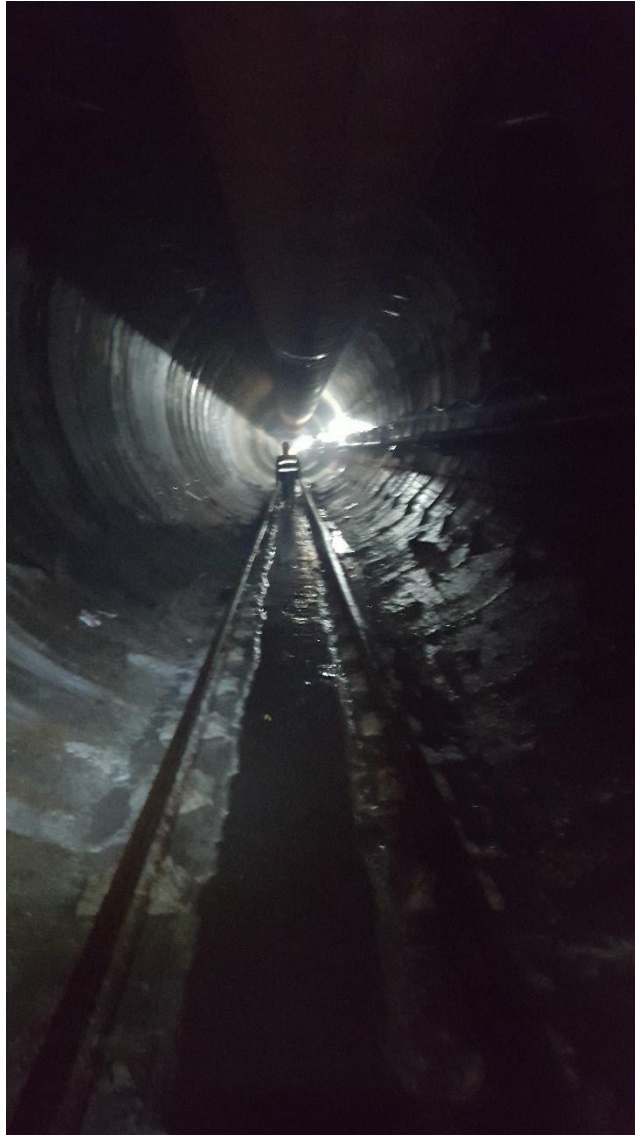


Figura 7 Túneles de conducción de tipo abierto
Fuente: Propia

Los túneles de conducción de tipo presión son aquellas que el agua ocupa toda la sección del túnel, por lo que a lo largo del túnel la presión es proporcional a la altura. Los túneles a presión normalmente tienen sección circular y llegan a sufrir de grandes sobrepresiones, como el golpe de ariete. En la siguiente figura se muestra el túnel de conducción a presión

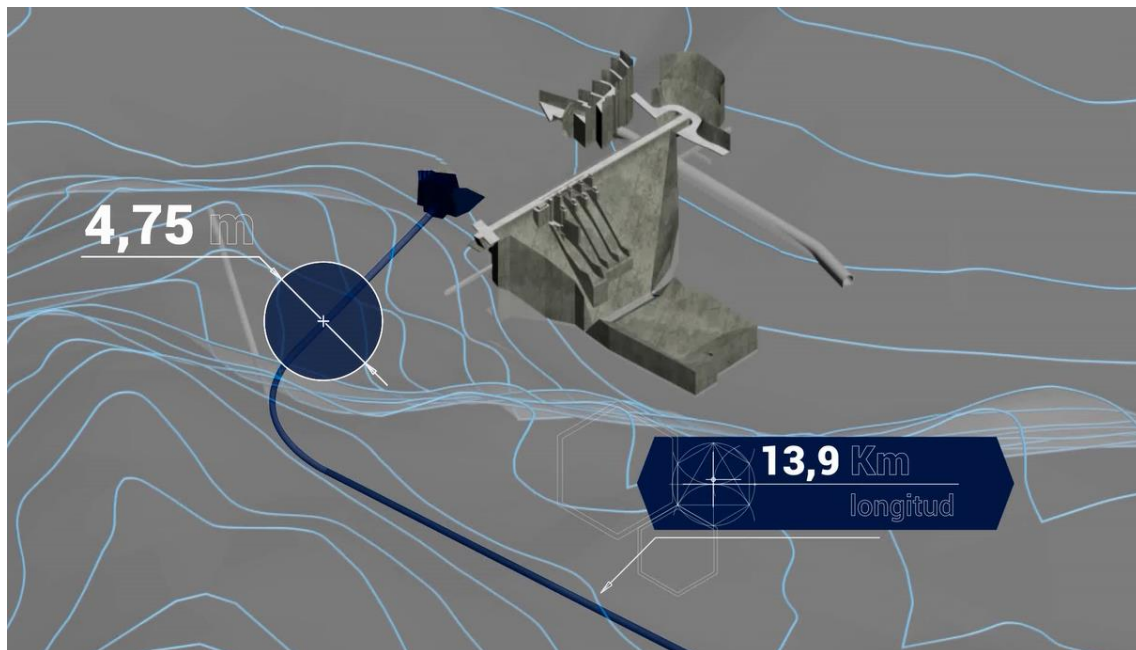


Figura 8 Túneles de conducción de tipo presión.
Fuente: CELEC- EP ENERJUBONES.

El túnel de conducción o de baja presión de la hidroeléctrica Minas – San Francisco se encuentra localizado a lo largo del margen derecho del río Jubones con una longitud de 13,9 km y está diseñado para soportar 65,0 m³/s. El 25% de la longitud del túnel está excavado con la metodología convencional (DBM) y el 75% restante excavado con máquina tuneladora (TBM).

El 25% de excavado tipo tradicional la sección transversal es de tipo herradura con un diámetro de 4,50 m; mientras que la sección transversal del 75% excavado mediante máquina tuneladora es de tipo circular con un diámetro de 4,80 m. al final del túnel de conducción o baja presión tiene un diámetro de 3,77 m y está blindado a 20mm en acero.



Figura 9 Máquina tuneladora (TBM).
Fuente: CELEC- EP ENERJUBONES.

2.2.1.4 Chimenea de Equilibrio

Para comprender la función de la chimenea de equilibrio es necesario saber qué factores influyen para usar dicho elemento en una hidroeléctrica.

➤ Golpe de Ariete

Este fenómeno se presenta en las tuberías que conducen líquido como sobrepresión o depresión, esto ocurre cuando existen cambios bruscos en la velocidad del flujo.

El fenómeno golpe de ariete se produce al cerrar rápidamente las compuertas lo que ocasiona una elevación de la presión y detrás de ella una reducción de la misma. Si las compuertas se abren bruscamente la presión se reduce y detrás de ellas se incrementa.

➤ Chimenea de Equilibrio o Pozos de Oscilación

Al registrar cambios bruscos de cargas eléctricas en las centrales hidroeléctricas estas se manifiestan como regímenes transitorios. Estos hechos se producen por el rechazo total de la carga por medio de fallas en las líneas, barras (bus), el transformador, etc.; el cual causa la desconexión del generador de la central hidroeléctrica.

También se producen otro tipo de cambios de carga, sean estos bruscos o leves que pueden producir el golpe de ariete, entre estos cambios también se tiene la variación

del gobernador o regulador de velocidad, la entrada en operación de la central hidroeléctrica para cubrir la potencia eléctrica de las plantas que han salido de operación del sistema eléctrico de potencia (SEP).



Figura 10 Chimenea de equilibrio en construcción de la hidroeléctrica Minas San Francisco
Fuente: Propia

Estos tipos de cambios bruscos que existen en la carga producen el golpe de ariete, para compensar a la central hidroeléctrica se instala casi al final del túnel de presión un pozo de oscilación, también conocida como chimenea, para disminuir las variaciones de presión de la tubería que conducen el agua hasta la casa de máquinas. Es decir, el pozo de oscilación o chimenea hace las siguientes funciones. (Juárez, 1992)

- Protege la derivación a presión del golpe de ariete.
- Controla y reduce la presión máxima de la tubería de la turbina.
- Mejoran la regulación de las turbinas.

En la central hidroeléctrica Minas – San Francisco está incluida este tipo de obra que permite controlar y disminuir el golpe de ariete, ya que es capaz de producir sobrepresiones en la tubería que conduce el agua hasta las turbinas (casa de máquinas). Figura 9

La chimenea o pozo de oscilación es de tipo vertical con una sección horizontal circular, con una altura de 68m con orificio restringido al pie, está ubicada en el sector

Gramalote. La medida en el umbral de la chimenea es de 811m s.n.m y el nivel máximo calculado para la oscilación es de 808,95m s.n.m. La estructura está conformada por dos cilindros, la inferior.

2.2.1.5 Tubería de Presión

Las tuberías de presión son de gran importancia dentro de una central hidroeléctrica y estas deben ser de alta confiabilidad y seguridad ya que están conectadas a las turbinas (casa de máquinas) y al tener una ruptura en estas tuberías estas podrían dañar las turbinas e inundar la casa de máquinas. Por ese motivo este tipo de tuberías suelen ser de acero o blindados en acero para que soporten grandes presiones.

Las tuberías de presión se pueden clasificar por su aplicación, por su forma de colocación, por el tipo de material.

Las tuberías por su aplicación se pueden utilizar como derivaciones a presión y para las turbinas como tuberías de presión.

Por su forma de colocación pueden ser a la intemperie, por zanjas (enterradas), subterráneas y Ahogadas en concreto.

Por el tipo de material estas pueden ser de acero, concreto y de materiales sintéticos.

Las tuberías de presión de la Hidroeléctrica Minas – San Francisco su colocación es subterránea y blindando en acero. El diámetro de la tubería es de 3.77m, con una longitud de 566.4m, la tubería de presión está construida en dos tramos una de forma vertical con una longitud de 456.4m y otra de forma horizontal con una longitud de 110m.



Figura 11 Tubería de Presión

2.2.1.6 Casa de Máquina.

El edificio que aloja las turbinas, los generadores, así como el equipo auxiliar necesario para dar confiabilidad y seguridad al funcionamiento adecuado de la generación eléctrica de la central se denomina casa de máquinas. También en este edificio se tiene el sistema de mando, control, la protección necesaria, etc.

Existen diferentes tipos de casa de máquinas que son:

- Casa de máquinas de hidroeléctrica de río.
- Casa de máquinas de hidroeléctrica junto a la cortina.
- Casa de máquinas de hidroeléctrica con derivación.
- Casa de máquinas especiales.
- Casa de máquinas de hidroeléctrica de río combinadas con eje vertical u horizontal.
- Casa de máquinas interconstruidas en las cortinas de concreto.
- Casa de máquinas subterráneas.
- Casa de máquinas de plantas de rebombeo.
- Casa de máquinas de plantas mareomotrices.

La edificación de la casa de maquina se puede dividir en dos partes, la primera es la parte sumergida o inferior y la segunda en parte superficial o superior.

En la parte inferior se encuentra la tubería de presión y la cámara de turbinas, así como el canal de descarga. Mientras que en la parte superior de la casa de máquinas se encuentra el montaje de los equipos como el rotor, excitatriz, estator, grúas, transformadores, etc.

La casa de máquinas de la central hidroeléctrica Minas – San Francisco es de tipo subterránea (caverna) ubicado en el sector Gramalote. Esta casa de máquinas alberga tres turbinas tipo Pelton, en una caverna separada aloja los transformadores y en la parte exterior está la subestación eléctrica conectado a través de un pozo de cables hasta los transformadores que se encuentran internamente En la siguiente figura se encuentra la casa de máquinas.



Figura 12 casa de máquinas.
Fuente: Propia

2.2.1.7 Canal de descarga.

El canal de descarga comprende la conducción del agua que ha pasado por las turbinas y deben ser devueltas al río.

El canal es la obra más común y relativamente sencilla dentro de una central hidroeléctrica. En la central Minas – San Francisco el canal es construido de manera subterránea de tipo baúl, con un ancho de base 5 m y con una longitud de 1.6 km. El agua que conduce por el canal de descarga como se muestra la siguiente figura.



Figura 13 Canal de descarga.
Fuente: Propia

2.2.2 Equipamiento Mecánico.

2.2.2.1 Turbinas Hidráulicas.

La unidad de generación de una central hidroeléctrica está acoplada mecánicamente entre una turbina hidráulica y un generador.

La turbina hidráulica convierte la energía cinética o potencial de la corriente del agua en energía mecánica y posteriormente por medio del generador en energía eléctrica. La construcción es simple y su eficiencia por lo general excede al 90% en plena carga.

Las turbinas hidráulicas se pueden clasificar en dos que son las turbinas de impulsor y las turbinas de reacción, estas pueden ser de configuración vertical u horizontal.

Al tener una configuración horizontal esta permite accionar un generador con dos turbinas hidráulicas instaladas una a cada lado. Este tipo de configuración permite operar a altas velocidades y por ello los generadores son pequeños y ligeros.

Con la configuración vertical es necesario tener chumaceras que sean capaces de soportar cargas pesadas, pero con operación de velocidades bajas. Se recomienda una configuración vertical, ya que con una configuración horizontal es necesario que el piso de la casa de máquinas este por encima del canal de descarga.

2.2.2.2 Clasificación de Turbinas

Las turbinas hidráulicas se clasifican en dos grupos que son las turbinas activas y las turbinas reactivas, en los grupos de turbinas activas están las turbinas tipo Peltón y en

las turbinas reactivas están las turbinas Francis, Kaplan, Hélice y sus modelos derivados.

2.2.2.3 Tipo de Turbinas

➤ *Turbina Peltón.*

La turbina Peltón es de tipo activo que trabaja con una alta caída y baja cantidad de agua. La energía potencial del agua pasa a través de la tubería de presión, convirtiendo la energía potencial en energía cinética a través de un chorro de agua inyectado por una boquilla. El chorro de agua que es inyectado a través de una boquilla incide o impacta sobre las cucharas del rotor, el cual produce el movimiento del mismo, convirtiendo la energía cinética del agua en energía mecánica.

➤ *Turbina Francis.*

Es una turbina de reacción, es decir, que desarrolla potencia debido a la velocidad del agua y la diferencia en presión. Este tipo de turbina es para caídas medias y flujos medios.

La configuración de esta turbina en su mayoría es de tipo vertical y su construcción son de grandes tamaños. Al ser construidos de modo vertical permite ahorrar espacio y el generador se encuentra sobre la turbina, libre de inundaciones.

La entrada del agua es controlada por una compuerta que se encuentra al inicio de la cámara de la turbina. El flujo que entra por la cámara espiral de la turbina pasa por unas paletas de forma radial que permiten direccionar el agua correctamente sobre el rotor el cual hace girar el eje de la turbina que esta acoplado junto al eje del generador.

➤ *Turbina Kaplan.*

La turbina Kaplan es una turbina de reacción donde el agua golpea a los alabes en forma axial. La ventaja de la turbina Kaplan es que sus alabes permiten tener una mayor eficiencia a pesar de tener condiciones en baja carga.

Este tipo de turbina tiene una similitud con la turbina Francis como en su carcasa espiral, el mecanismo de guía, el tubo de salida, excepto el impulsador. La diferencia de la turbina Kaplan con la turbina Francis es que la Kaplan tiene únicamente de 3 a 6 alabes, mientras que la turbina Francis tiene de 16 a 24 alabes.

➤ *Turbina de Propulsor o Hélice.*

La turbina propulsor o hélice es de reacción y es apropiada para grandes cantidades de agua y a caídas bajas (menor a 30m).

2.2.2.4 Selección del tipo de turbina en la hidroeléctrica Minas – San Francisco.

Para la selección del tipo de turbina que se usa en la hidroeléctrica es de acuerdo a los parámetros de la altura (salto neto) y el caudal presente en la central. La altura (salto neto) es de 474,51m y tiene un caudal medio anual de 48.26 m³/s.

En la siguiente gráfica se establece el rango de aplicación para la selección de turbinas según la altura y el caudal para la central hidroeléctrica. Donde se establece que las maquinas seleccionadas son las turbinas tipo Peltón. Como se puede apreciar en la siguiente figura.

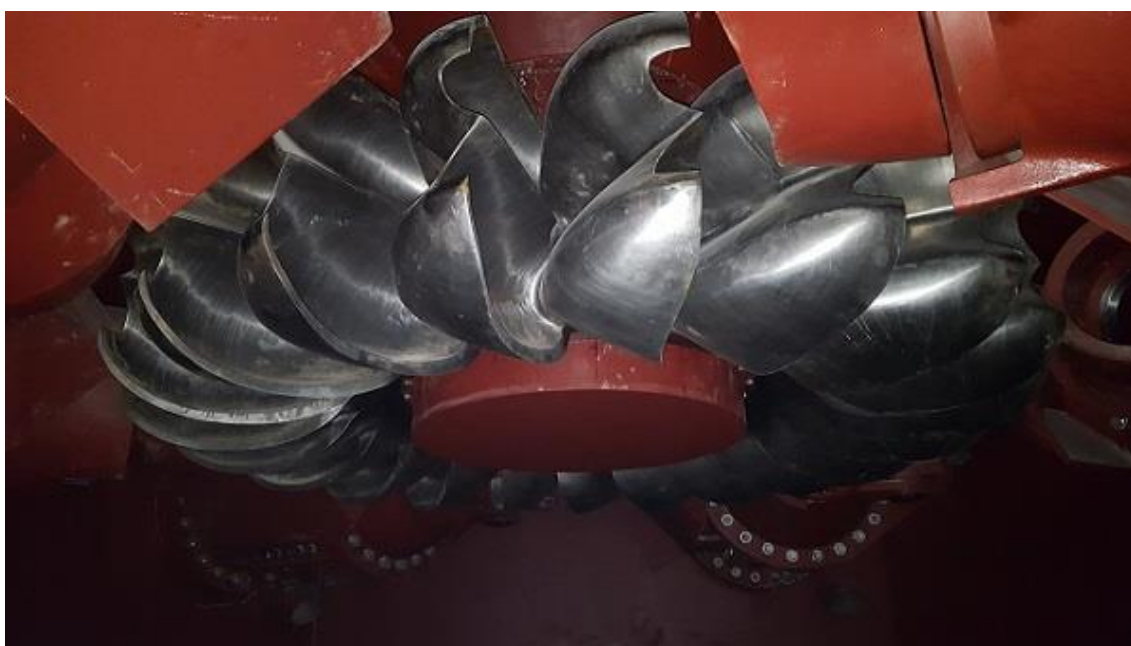


Figura 14 Turbina Peltón de la Hidroeléctrica Minas San Francisco
Fuente: Propia

Para la selección del número de turbinas a instalarse en la central hidroeléctrica fue necesario considerar la máxima energía generada, el mínimo tamaño de los equipos, seguridad económica, Flexibilidad, Inversión lo más ajustada a la máxima tasa interna de retorno, valor de inversión inicial. (HARPER, 2009)

Las características básicas del diseño de las turbinas Peltón en la central hidroeléctrica Minas San Francisco son:

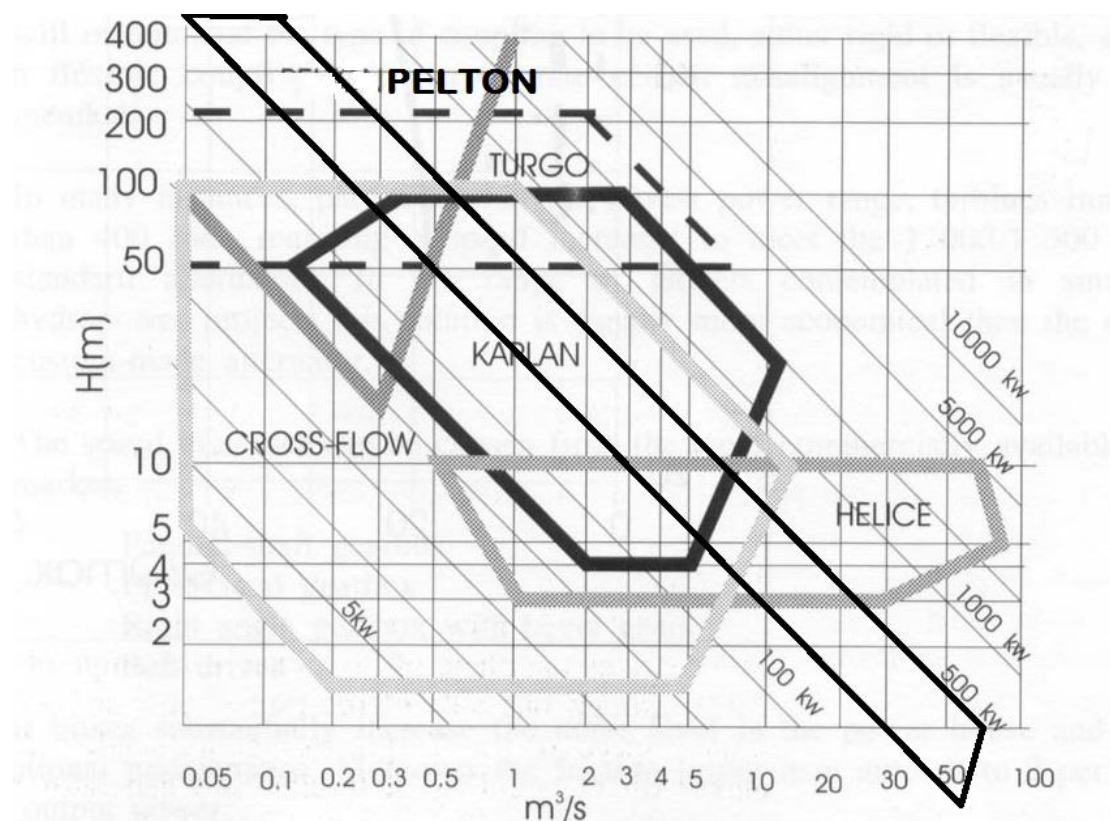


Figura 15 Parámetros generales para la selección de turbinas

Fuente: IDAE. Manuales de Energías Renovables: Hidroeléctrica. Madrid, España, 2006.

2.2.2.5 Sistemas Auxiliares.

La casa de máquinas de tipo caverna aparte de albergar las turbinas tipo Peltón, los generadores y transformadores, también alberga sistemas auxiliares que están compuestos por el sistema de agua de enfriamiento y servicio, sistema de drenaje, sistema de aire acondicionado, sistema de aire comprimido de servicio, sistema de ventilación, sistema de agua tratada, sistema sanitario, sistema contra incendio. (Rios & Troncoso, 2011)

El sistema de drenaje está compuesto por una central de bombeo y dos bombas sumergibles que servirán para drenar el agua de la casa de máquinas y la casa de transformadores. El agua será llevada hasta el pozo de drenaje.

El sistema de agua de enfriamiento y servicios es tomado desde el río Vivar y pasara por varias etapas de tratamiento como un sedimentador, filtros autolimpiantes, etc. Hasta ser conducida a los diferentes intercambiadores que se encuentran en la casa de máquinas.

El sistema de aire comprimido de servicio está compuesto por tres compresores, tres secadores por refrigeración, tres tanques de almacenamiento de aire, así como los

elementos de conducción de aire. Estos elementos están situados en el piso de las turbinas.

La central del sistema de ventilación está ubicada al exterior de la casa de máquinas, posesionado entre el túnel de acceso principal a la casa de máquinas y la derivación para acceso a la bóveda. La distribución del aire se hará a través de canalización laminada en acero galvanizado.

El sistema de aire acondicionado permite climatizar el edificio de administración, el edificio de control y el edificio de servicios.

El sistema de agua tratada pasará por la etapa de infiltración y además será potabilizada. Este sistema se encuentra en el piso de turbinas y está compuesto por bombas centrifugas verticales y una estación de tratamiento.

El sistema sanitario está dividido en dos subsistemas, uno es para la recolección de aguas servidas de la casa de máquinas y la otra será para la recolección de aguas servidas del edificio de administración y servicio. Las aguas servidas serán tratadas antes de ser vertidas a los sumideros.

El sistema contra incendio comprende los hidrantes, el sistema CO₂ para los generadores, el sistema de agua pulverizada de los transformadores, así como el sistema contra incendio de la casa de máquinas, el edificio de administración, el edificio de servicios y la casa transformadores.



Figura 16 Casa de máquinas, el edificio de administración, el edificio de servicios
Fuente: Propia

2.2.3 Equipamiento Eléctrico

2.2.3.1 Generadores

Los generadores utilizados en la central hidroeléctrica Minas – San Francisco son de tipo síncrono, que sirven para convertir la energía mecánica en energía eléctrica.

La central consta de tres generadores de 91.66MW cada una, con un eje vertical acoplado al eje de la turbina Peltón. El voltaje de generación es de 13,8kv con 20 números de polos y un factor de potencia de 0,90.

Un generador síncrono es una maquina síncrona que se utiliza para generar energía eléctrica a través de la energía mecánica. La sincronía de un generador se basa en que la frecuencia que produce tiene una relación o sincronización directa con la velocidad mecánica de rotación del generador.

El generador de la central está compuesto por una parte móvil y otra estática. El rotor es la parte móvil del generador que es alimentado con corriente directa o continua para su excitación y que a la vez genera un campo magnético. Al implementar movimiento giratorio al rotor, el campo magnético induce un conjunto de voltajes trifásicos hacia los devanados de la parte estática del generador (estator). Los devanados del rotor que producen campos magnéticos se denominan “devanados de campo” y los devanados del estator donde se inducen los campos magnéticos se denominan “devanados del inducido”.

El rotor por generar un campo magnético se le considera un gran electroimán. El rotor de la central hidroeléctrica Minas – San Francisco es de polos salientes, es decir, que es construido hacia afuera de la superficie del rotor.

La velocidad mecánica del campo magnético del rotor está directamente relacionada con la frecuencia eléctrica del estator, como lo demuestra la ecuación.

$$f_e = \frac{\eta m \times P}{120} \quad (1)$$

Siendo

f_e : La frecuencia eléctrica en Hz

ηm : La velocidad mecánica del campo magnético en rpm

P : El número de polos

La velocidad mecánica del campo magnético del rotor en cada turbina es de 360rpm con un número de 20 polos salientes, por lo tanto, la frecuencia es:

$$f_e = \frac{360 \times 20}{120} = 60 \text{ Hz}$$

El aislamiento del rotor y el estator es de clase F, que soporta hasta 155°C con materiales aislantes de tejidos de fibra de vidrio barnizados, papeles de mica y amianto, compuesto a base de poliamida. Con esmalte y barnices a base de Poliéster modificado, polietileno, poliuretano, poliamida y resinas epoxi.

El voltaje de generación en la central hidroeléctrica es de 13.8kV con una diferencia de +5% a -5%.

2.2.3.2 Equipos Auxiliares del Generador

La central hidroeléctrica Minas – San Francisco consta de tres unidades de generación con una potencia de 91.66MW cada una. Cada generador consta de equipos auxiliares ubicados en los distintos pisos de los generadores. En la siguiente figura se muestra las tres unidades ubicadas en casa de máquina.



Figura 17 Unidad N° 3 sin la cubierta superior
Fuente: Propia

Cada unidad de generación consta de ductos de barras de fases aisladas a 13.8Kv, tablero de protección contra sobretensiones, tablero de conexión a tierra del neutro y tablero de medición de energía bruta.

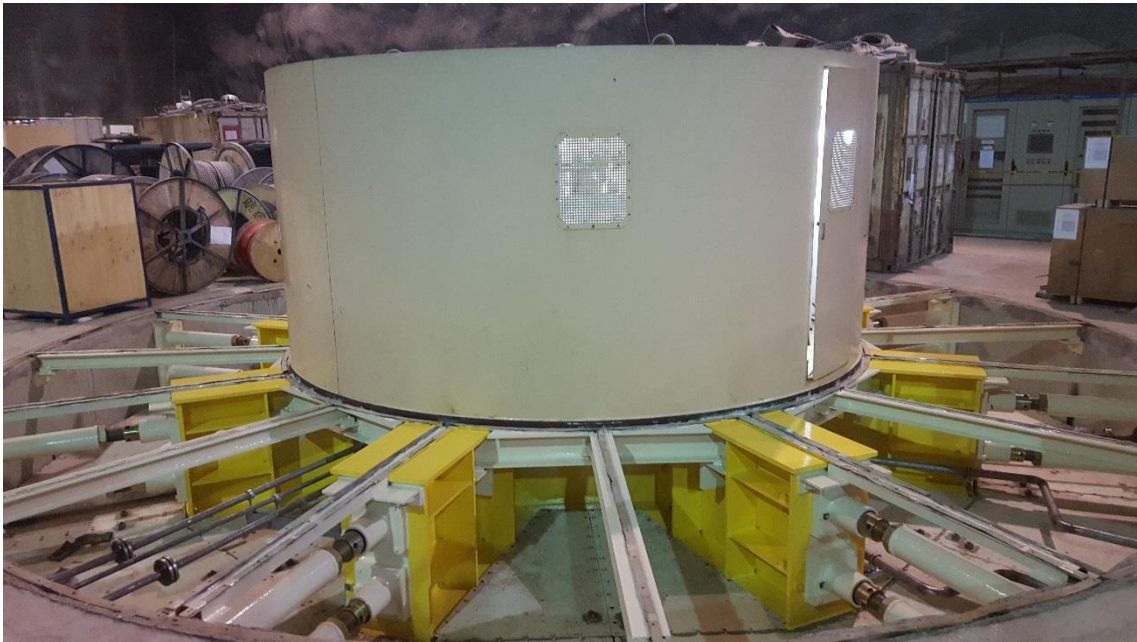


Figura 18 Unidad N° 3 en armado de la cubierta superior
Fuente: Propia



Figura 19 Unidad N° 3 con la cubierta superior
Fuente: Propia

Los ductos de barras de fases aisladas a 13.8Kv se origina de los bornes del generador hasta los bushings primarios del transformador con una corriente nominal de 5000 A y la distancia entre fases es de 80cm mínima. Las barras tienen incluidas transformadores de corriente con una relación de 5000/5A tanto para las salidas de las fases y el neutro del generador.

Los tableros de protección son de tipo metalclad y será designado un tablero por fase que comprenderán equipos como transformadores de potencial monofásicos para protección y medición, capacitores monofásicos y pararrayos de zinc para tensiones de 13.8Kv.

El tablero de conexión a tierra del neutro consiste en uno solo y comprende de la instalación de un transformador con una relación de 13800/240 v.

Se comprenderá para las tres unidades de generación de un solo tablero de medición de energía bruta con tecnología digital. Este tablero de medición se subdivide en tablero de sincronización, equipos de inyección de aceite, tablero de instrumentos del generador, tablero del cojinete superior, tablero de control de vibraciones, equipos de control y protección de la unidad.

2.2.3.3 Transformadores

El transformador eléctrico es un dispositivo que permite cambiar el nivel de voltaje a través de la acción de un campo magnético sin producir cambios en la potencia eléctrica.

El transformador principal de una central hidroeléctrica que se usa para elevar o aumentar la tensión eléctrica se denomina transformador de unidad. La hidroeléctrica Minas – San Francisco cuenta con tres transformadores elevadores con una relación de 13800/230000 Kv y que están designados para cada unidad de generación. Los transformadores elevadores se localizan en una segunda caverna, cercana a la caverna de la Casa de Maquinas.



Figura 20 Caverna de transformadores elevadores
Fuente: Propia

El BIL o el nivel básico de aislamiento (NBA) del transformador para aislamiento interno del lado secundario (230Kv) será de 950 Kv y en el lado primario (13.8 Kv) será de 110 Kv.

El transformador elevador o el transformador de unidad tendrán tomas o TAP sin carga en el lado de alta tensión y de acuerdo a las normas IEC el transformador constara con intervalos de $\pm 2.5\%$

2.2.3.4 Sistemas de protección.

Para proteger el sistema eléctrico de potencia y los distintos equipos eléctricos de la central hidroeléctrica se utilizan sistemas de protección. Los sistemas de protección evitan que los equipos eléctricos se destruyan, que el problema no llegue a extenderse de forma encadenada y ayuda dar seguridad a las personas que se encuentran cerca de donde se produce la falla.

Las características a considerar para la instalación de un sistema de protección es que debe tener sensibilidad, selectividad, velocidad, confiabilidad, simplicidad y económico.

Al tener sensibilidad en los equipos de protección esto ayuda a identificar las fallas que se produzcan en el SEP por más pequeñas que sean. La selectividad del sistema de protección discierne en que zona se encuentra la falla para actuar solo en la zona de falla. Al detectar la falla los equipos de protección deben de responder y actuar lo más rápido posible para que la falla no se extienda en el SEP, además las protecciones deben ser confiables al momento de operar y lleguen a responder correctamente. El sistema de protección tiene que ser lo más simple posible y debe de ofrecer la mayor seguridad posible a un costo menor.

En un sistema de protección principal del SEP es conveniente instalar protecciones de respaldo para dar mayor confiabilidad al sistema, pero esto es necesario aplicar en las zonas que son más propensos a fallas eléctricas.

En la central Hidroeléctrica Minas – San Francisco se ha proyectado la instalación de protecciones eléctricas para los generadores, transformadores, subestación, línea corta o línea de evacuación, tableros de servicios auxiliares, con una adecuada coordinación del sistema de protección. Los equipos de protección de la central serán de última generación, tipo digital, número y con multifunciones.

En la central hidroeléctrica se tiene instalado por cada generador protecciones principales y protecciones de respaldo para garantizar la normal operatividad del SEP.

En los transformadores se considera el uso de protección redundante. Los tableros de protección de los transformadores y generadores se sitúan en la casa de máquinas tipo caverna.

La subestación de la central se encuentra en el exterior de la casa de máquinas y su tablero de protecciones está instalado en el edificio de control de la propia subestación.

2.2.3.5 Cables de potencia.

Los cables de potencia se encuentran dentro de un pozo de aproximadamente 483m de longitud que interconectan los transformadores (ubicados en la caverna de transformación) con la subestación (ubicada en el exterior).

El tipo de conductor es de aluminio para 230 Kv, con pantalla metálica y cubierta en PVC, con una sección mínima de 1000 MCM. Los conductores eléctricos estarán sujetos con accesorios aprobados según las condiciones del terreno.

2.2.3.6 Subestación de Elevación.

La subestación de elevación se ubica en la parte exterior de la casa de máquinas en un área aproximada de 83 x 192m. Al encontrarse la subestación a 500 metros sobre la casa de máquinas su construcción es de tipo convencional y cuenta con equipos de protección, seccionadores, interruptores, transformadores de potencial, transformadores de corriente y pararrayos. La subestación esta interconectado con los transformadores a través de la línea corta (línea de descarga) que se encuentra dentro de un pozo que comunica la caverna de los transformadores con el exterior de la subestación.

El nivel básico de aislamiento de los equipos eléctricos es de 950 Kv y serán instalados en soportes metálicos de una altura mínima de 2 metros.

La subestación de elevación consta con su propio edificio de control, incluido los tableros de protección.

2.2.3.7 Equipos misceláneos.

La alimentación eléctrica de los propios servicios de la central hidroeléctrica, también llamados como sistemas auxiliares, consumen menos del 1% de la energía que produce la central.

Los sistemas auxiliares de la central permiten que los equipos principales de las unidades generadoras operen en forma segura y confiable. Entre los sistemas auxiliares de la central hidroeléctrica Minas – San Francisco está el sistema de tierra de la central y la subestación, servicios de corriente alterna, servicios de corriente continua o directa,

tableros, tableros de servicios auxiliares a 480 v, Generador de emergencia, sistema de ductos, bandejas y cables.



Figura 21 Tableros de servicios auxiliares.
Fuente: Propia

El sistema de tierra de la casa de máquinas, casa de transformación y la subestación elevadora tendrán su propia malla de tierra, interconectadas entre sí. La malla de tierra es un sistema de protección que permite dar seguridad a los equipos eléctricos, mecánicos, electrónicos y partes metalizadas de la central, así como resguardar la vida de las personas que laboran en la central hidroeléctrica ante descargas eléctricas.

El servicio auxiliar de corriente alterna comprende de transformadores auxiliares con una relación de transformación de 13.8 / 0.48 Kv, los transformadores que están dentro de la casa de máquinas serán del tipo seco. Si los transformadores auxiliares están a la intemperie estos serán de tipo convencional y sumergidos en aceite.

El servicio auxiliar de corriente continua permite alimentar el alumbrado de emergencia, el sistema de control y protección de la central (protección con relevadores) a través de bancos de acumuladores.

Para el sistema de SCADA y de control se proyecta un voltaje de 125 v.C.C., la capacidad de cada rectificador es de 300 A, además por cada unidad se instala un tablero de distribución.

Los tableros de media tensión son contruidos en secciones, con tecnología metalenclosed. Las fases para los tableros de C.A es A, B, C N) y para los tableros de C.C las barras positivas y negativas tienen la misma secuencia que los tableros de C.A.

Para los tableros de servicios auxiliares a 480 Kv de principio se tiene un tablero principal de fuerza que es alimentado por dos transformadores auxiliares y se alimenta a las diferentes áreas de control de motores de la central.

La subestación contara con un grupo de generadores de emergencia ubicadas en la subestación de elevación con una potencia de 1000 KVA y una tensión de 480 V, mientras que para la presa se instalara generadores de emergencia de 200 y 400 KVA, con una tensión de 480 V.

Los cables de la casa de máquinas se encuentran alojadas en bandejas portacables de aluminio de tipo escalera, mientras que los cables de la subestación están alojados en pozos y túneles. Todas estas bandejas se encuentran conectadas a puesta a tierra.

Los cables para el circuito de fuerza y de iluminación son de cobre y para los cables de control, instrumentación y comunicaciones, son multiconductores.

CAPITULO 3

3. PROTECCIÓN DEL GRUPO GENERADOR –TRASFORMADOR Y LÍNEA DE EVACUACIÓN.

3.1 Introducción a Factores de un sistema de protección.

3.1.1 Elementos de entrada.

Son componentes que utiliza una señal, en las cuales estas son de corriente o de tensión admisibles en los elementos de medición y actúan a la vez aislando del SEP del sistema de protecciones.

Para los elementos de entrada se tiene los transformadores de medida (TM) o de instrumento que son de dos tipos.

- Transformador de corriente. (TC)
- Transformador de potencial. (TP)

3.1.1.1 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE. (TC)

Este transformador de medida utiliza la corriente que se tiene el devanado primario transformado (reduciéndola) a niveles seguros y medibles en el devanado secundario obteniendo los valores típicos para el sistema de protección de 1A o 5A con sus respectivo desfase de ángulo cercano a cero. (Rodríguez Ferrero, 2012)

El tipo de conexión que se tiene para el transformador de corriente es en serie, para poder obtener magnitudes de corriente a medir o a proteger el devanado primario del TC se conecta al SEP, mientras que en el devanado secundario se encuentra conectado a equipos de protección, control y medición.

En los TC se utiliza un límite de saturación alto acompañado de un gran umbral para que pueda actuar el relé.

Para seleccionar el tipo de TC se determina los siguientes factores:

- Función a desempeñar.
- El tipo de aislamiento.
- La potencia nominal.

- La clase de precisión.
- El tipo de conexión.
- La corriente nominal primaria y secundaria.

3.1.1.2 TRANSFORMADORES DE POTECIAL. (TP)

Estos transformadores tienen la misma función que un transformador de potencia, la finalidad de un TP es reducir niveles de tensión en el devanado primario en los rangos de KV a rangos de niveles de medición normalizados 110 a 120 V, en la cual estos rangos en el devanado secundario son utilizados para equipos de protección, medición y control.

En los TP se tiene errores en la relación de transformación y en el ángulo entre tensiones primaria y secundarias, para corregir este tipo de error se sobredimensiona tanto el núcleo magnético y sección de los conductores de ambos devanado teniendo en cuenta que la magnitud de los errores va a depender de la carga que se va encontrar en el devanado secundario de los TP. (Castaño)

Para seleccionar el tipo de TP se determina los siguientes criterios:

- Clase de precisión.
- Tensión nominal primaria y secundaria.
- Función a desempeñar.
- Tolerancia.
- Relación de transformación.

3.1.2 Relés de protección.

Los relés de protección es el que actúa cuando atraviesa un disturbio o falla. Toma a su vez una decisión por el nivel de magnitud seteados comparando a su vez las que entrega un elemento de entrada.

Las funciones específicas de un relé son.

- Establece un rango a los elementos de entrada.
- Obtiene información de los elementos de entrada.
- Compara la magnitud seteada con la magnitud del elemento de entrada.
- Mediante la comparación los contactos auxiliares toman su decisión de abrir o cerrar.

Las propiedades de un relé de protección son:

- Adaptación
- Memoria
- Comparación
- Decisión

Para nuestra investigación hablaremos sobre el tipo de relé que implementan en la HIDROELÉCTRICA ENERJUBONES que son los IED's RELES IED's (Intelligent Electronic Device)≡(Dispositivo Electrónico Inteligente) (Beijing Sifang Automation Co., 2014)

Como se entenderá los relés IED's tiene una característica que se destaca por su diseño compacto y grandes funcionalidades de protección, control, monitoreo, medición y comunicación. Las características principales que deben ejecutar los relés son confiabilidad y velocidad de actuación.

En el mercado actual, son unos de los relés más modernos ya que anteriormente se usaban los relés electromecánicos y relés de estado sólido. (Castaño)

Reportan anomalías o fallas en instante de tiempo no mayor a un segundo que serán analizadas en un centro de control, este a la vez cuenta con una memoria volátil que aun si se encuentra con una pérdida de alimentación su información queda registrada en el dispositivo ya que cuentan con información almacenada ya sean analógica y digital que se ejecutarían para realizar análisis oscilográfico de la falla.

Los tipos de protecciones que utilizan en marca SIFANG son los siguientes: CSC-211, CSC-306GZ, CSC-103, CSC-336C, CSC-326. (Beijing Sifang Automation Co., 2014)



Figura 22 protecciones en marca SIFANG CSC-211, CSC-306GZ.
Fuente: Propia

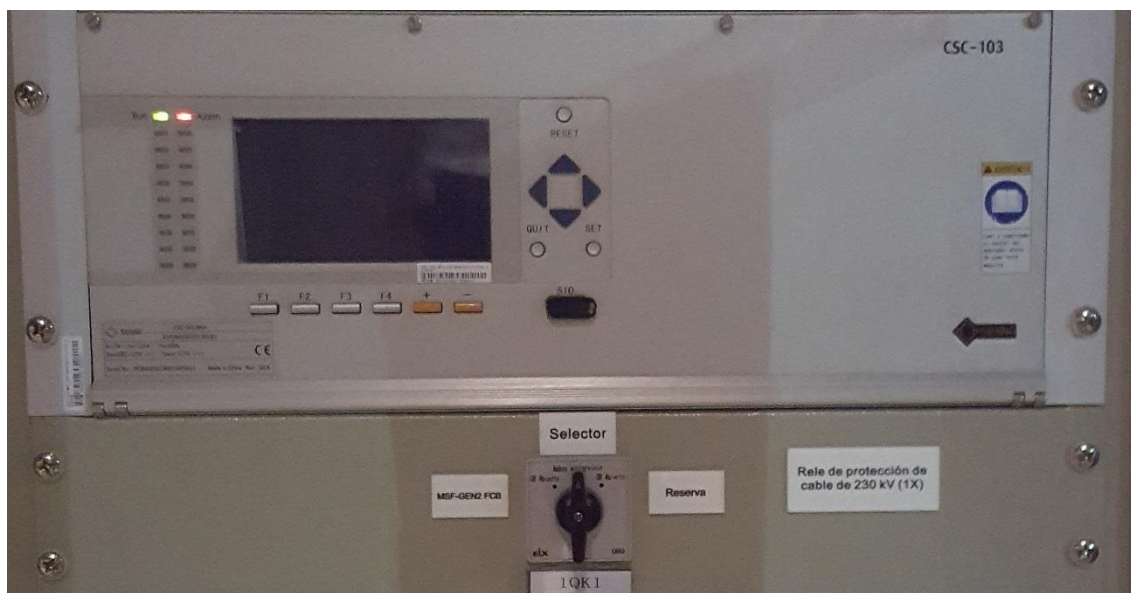


Figura 23 Protección en marca SIFANG CSC-103.
Fuente: Propia



Figura 24 Protección en marca SIFANG CSC-336C
Fuente: Propia



Figura 25 Protección en marca SIFANG CSC- 326
Fuente: Propia

3.1.3 Elementos asociados.

Contactores auxiliares, sistema de alarmas, registradores de eventos y otros, que comparte información con los dispositivos de protección y el usuario. (Castaño)

3.1.4 Disyuntores.

Los disyuntores desconectan la parte donde se presentó la falla o perturbación evitando que se extienda y poder localizar el daño que se generó. Este a la vez tiene que interrumpir corrientes de carga, magnetización de transformadores y reactores, capacitivas de bancos de condensadores capacitivas de línea en vacío.

Entre las funciones que se tiene en los disyuntores.

- Conducir corrientes en posición y cerrar.
- Aislar en dos partes al circuito eléctrico.
- Cambiar de cerrado a abierto o viceversa.
- Aislar fallas.
- Abrir en tiempos de dos ciclos.

3.1.5 Fuente Auxiliar de tensión.

Se llama fuente auxiliar de tensión porque ayuda al sistema de protecciones de no ser ininterrumpida, y sirve para suministrar energía a los circuitos de protección.

La fuente auxiliar de tensión tiene como propósito de suministrar energía cuando exista la ausencia de energía en el SEP utilizando por lo general un banco de Batería-Rectificador

3.2 Protección del grupo Generador- transformador.

Entre las principales protecciones que se considera el grupo de generador-transformador en la hidroeléctrica se tienen la siguiente figura.

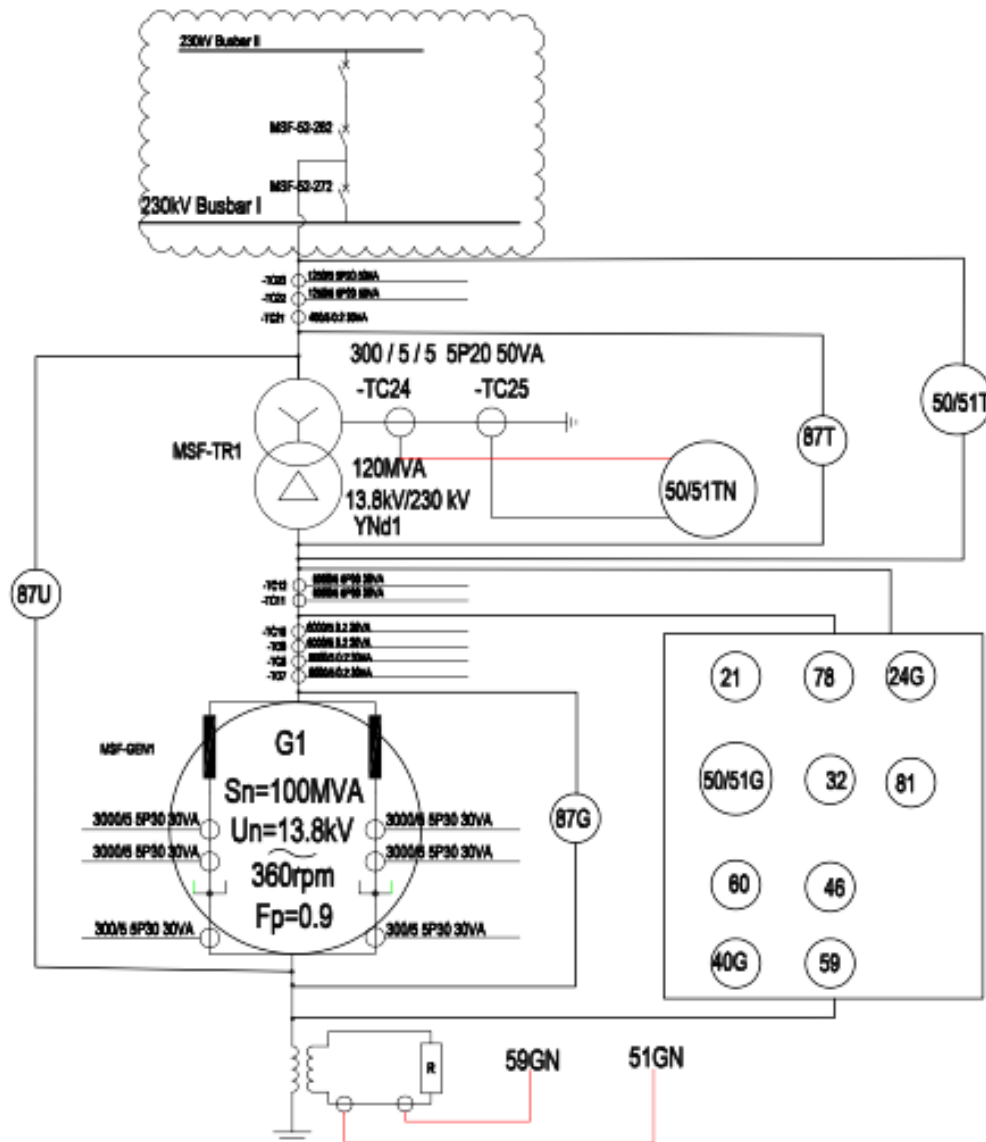


Figura 26 Protección del grupo Generador- transformador.
Fuente: Propia.

Para el análisis de las protecciones del Generador, es necesario conocer las características del equipo eléctrico instalado, utilizando los datos del fabricante (datos de placa) entregados por parte de Enerjubones.

Tabla 1 Datos de placa del Generador de la unidad N°3

GENERADORES					
CENTRAL			Hidroeléctrica Minas San Francisco		
UNIDAD			U1	U2	U3
Marca			Harbin Electric Machinery		
Clase de aislamiento			F	F	F
Tipo de rotor			Polos salientes	Polos salientes	Polos salientes
Potencia Nominal		MVA	100	100	100
Capacidad efectiva		MW	90	90	90
Potencia Reactiva	Max	MVAR	43,58	43,58	43,58
	Min	MVAR	43,58	43,58	43,58
Factor de potencia			0,9	0,9	0,9
Voltaje nominal		kV	13,8	13,8	13,8
Tipo de Conexión			Estrella	Estrella	Estrella
Resistencia de puesta a tierra	Re	Ω	0,8	0,8	0,8
Reactancia de puesta a tierra	Xe		0	0	0
Relación de cortocircuito	SCR		1,203	1,203	1,203
Resistencia de armadura	Ra	p,u,	0,00196	0,00196	0,00196
Reactancia de Potier	Xp	p,u,	0,244	0,244	0,244
Secuencia cero	R ₀	p,u,	0,00487	0,00487	0,00487
	X ₀	p,u,	0,109	0,109	0,109
Secuencia negativa	R ₁	p,u,	0,00348	0,00348	0,00348
	X ₁	p,u,	0,124	0,124	0,124
Reactancias Sincrónicas	Xd	p,u,	0,896	0,896	0,896
	Xq	p,u,	0,624	0,624	0,624
Reactancias Transitorias	Xd'	p,u,	0,303	0,303	0,303
	Xq'	p,u,	0,624	0,624	0,624
Reactancias Subtransitorias	Xd''	p,u,	0,237	0,237	0,237
	Xq''	p,u,	0,21	0,21	0,21
Constantes transitorias c,c,	Td'	s	2,562	2,562	2,562
	Tq'	s	0,133	0,133	0,133
Constantes Subtransitorias c,c,	Td''	s	0,143	0,143	0,143
	Tq''	s	0,133	0,133	0,133
Constantes transitorias c,c,	Tdo'	s	7,935	7,935	7,935

	Tqo'	s	0,458	0,458	0,458
Constantes Subtransitorias c,c,	Tdo"	s	0,182	0,182	0,182
	Tqo"	s	0,458	0,458	0,458
Constante de tiempo de eje directo c,a,	Tdo	s	N/A	N/A	N/A
	Tqo	s	N/A	N/A	N/A
Constante de tiempo de armadura	Ta	s	0,303	0,303	0,303
Constante de Inercia	H	s	7,5	7,5	7,5
Energía cinética del generador + turbina	Wr	MW-s	3,37	3,37	3,37
Resistencia de campo	Rf	Ω	0,00035	0,00035	0,00035
Saturación de la máquina al 100 % de V.	SG1,0	p,u,	1,077	1,077	1,077
Saturación de la máquina al 120 % de V.	SG1,2	p,u,	1,368	1,368	1,368
Excitación plena carga	Efd	p,u,	229,2	229,2	229,2
Factor de amortiguamiento con carga	D	p,u,	N/A	N/A	N/A
Capacidad térmica del rotor	I ² T	p,u,	120°C	120°C	120°C
Momento de inercia	WR ²	lb,ft2	475	475	475

Fuente: Propia

Los datos de placa del transformador T1, T2 y T3 serán los mismos. El estudio se realizara con datos entregados por parte de Enerjubones.

Tabla 2 datos de placa para el transformador de la unidad N° 3

Transformador					
Tipo		SSP-120000/230		N°	1TBEA.710.2575
Potencia nominal	KVA	120000/120000		Normas	IEC60076-1:2011 IEC60076-2:2011 IEC60076-3:2013 IEC60076-5:2006
Relación de voltaje	Kv	230(±2*2.5%)/13,8			
Grupo de conexión	YNd1				
Enfriamiento		OFAF			
Voltaje más alto de equipo	KV	HV	LV		
		245	25KV		

Numero de partida		130642B		Número de serie	140894261
NIVEL DE AISLAMIENTO		HV	SI	LI	AC
	KV	Terminal de Líneas	750	950	395
	KV	Terminal de neutro		200	70
		LV			
	KV	Terminal de Líneas		110	34
Frecuencia Nominal	Hz	60		Numero de Fases	3
Clase de Tensión		Alta Tensión	Neutro de Alta Tensión	Baja Tensión	
	KV	230	34,5	13,8	
Nivel de Aislamiento del exterior de buje	KV	1050/460	200/70	125/45	
Fuerza Mecánica de Cuba		Vacío	Elevación de Temperatura de Devanados/A ceite de parte superior	55°C/45°C	
	Pa	133			
		Presión Positiva	Altura		
	kPa	98	≤1000m		
Distancia total de fuga del aislamiento externo de bushing		Alta Tensión	Neutro de Alta Tensión	Baja Tensión	
	mm	/	1256	744	
Numero de contrato		HPE-05-HECMS1	Numero de partida	8	
Fecha de fabricación		2015año 7 mes	Número del informe de ensayo		2015 año 11 mes
Manera de Funcionamiento	Potencia Nomin al (KVA)	Perdida con carga (KW)	Potencia/elevación de temperatura		
			1 ventilador funciona		
Alta tension- baja tension	120000	317.62	2 ventilador funciona		
corriente sin carga (%)	0.06				
Perdida sin carga (kw)	67.09		Impedancia de aislamiento de yugo a tierra de nucleo		500 MΩ
Nivel de ruido	75dB		Factor de pontecia de arrollamiento		cos Θ =1

Fabricante del CTSC	MR(DUIII400-145-0605 OME)		Impedancia de secuencia cero	45,91
Manera de Funcionamiento	Impedancia de cortocircuito (%) (potencia 120000)			Aceite
				Contenido de agua en aceite
	Posicion 1	Posicion 2	Posicion 3	Clase
Alta tension- baja tension	12,11	12,14	12,35	Tipo
				Fabricante

Fuente: Propia

3.2.1 Protección Del Generador.

Las protecciones que se tiene en el generador síncrono requieren una mayor atención, ya que se encuentra expuesto a múltiples posibles fallas, en las cuales puede ser en condiciones anormales de operación del sistema.

Las protecciones tratan de minimizar las fallas que se producen en el sistema de potencia, reduciendo los efectos que estas puedan causar, por lo tanto mediante una adecuada coordinación de protecciones se disminuye los efectos que podrían causarse en otros componentes. (integratech, 2004)

El estudio demuestra las fallas más comunes que se presenta en los generadores como son los cortocircuitos que son detectados por los esquemas de protección diferencial o relevadores de sobrecorriente.

Para las protecciones del generador, se ha estudiado los diferentes tipos de fallas más comunes que se presenta en el generador. Para ello las protecciones más relevantes son contra cortocircuito y en condiciones anormales de operación tales como: sobrevoltaje, sobreexcitación, desbalance de corriente, perdida de excitación, potencia inversa, frecuencias anormales. Obteniendo como fin proteger al propio generador en una forma automática y liberarlos en el menor tiempo posible de los diferentes tipos de fallas que se presenta.

Las protecciones cumplen un papel principal en el SEP como son:

- Evitar lesiones al personal.
- Reducir el daño que se tiene el sistema.

- Prevenir las interrupciones del servicio minimizando el tiempo de daño

Entre las principales características operativas en los sistemas de protecciones tenemos confiabilidad, selectividad, velocidad de operación, simplicidad, y sensibilidad.

- Confiabilidad: Su funcionamiento es precisa por lo que garantiza actuar en condiciones más desfavorable de operación ya que protege por muchos años.

La confiabilidad envuelve 2 aspectos importantes.

- Dependabilidad: Actúa cuando debe hacerlo.
- Seguridad: Es una certeza de no operar cuando no lo tenga que hacer.
- Selectividad: Permite eliminar o aislar la parte en falla ejecutada realizando una desconexión de mínimas de equipos.
- Velocidad de operación: Garantiza la eliminación de fallas en un tiempo reducido, evitando extenderse y afectar a otros equipos.
- Simplicidad: característica principal que se tiene en un dispositivo de protección utilizado en un sistema de potencia.
- Sensibilidad: Su función es de actuar ante la mínima perturbación que se encuentre en el sistema.

3.2.1.1 Protección diferencial. (87)

La protección diferencial 87 resguarda al generador ante un cortocircuito que se provoca en el devanado del estator.

Los tipos de cortocircuito que se tiene en el devanado del estator son:

Fase-fase

Fase –tierra

Estos dos son los que se pueden localizar, pero al producirse un cortocircuito entre espiras de la misma fase no se detecta fácilmente porque la corriente que circula será la misma en ambos puntos (Integatech, 2004)

La protección diferencial 87 consiste en comparar dos corrientes; la corriente de una fase en el extremo del neutro y la otra corriente en el extremo de los terminales.

La protección diferencial debe tener los requerimientos siguientes:

- Tiene que ser lo suficientemente sensible para detectar anomalías que se produce en el estator del generador y no operar al surgir fallas externas a la máquina.
- La protección diferencial debe actuar rápidamente para que el generador quede fuera del servicio y no pueda provocar algún daño grave.
- La protección como tal ante alguna anomalía tiene que estar diseñado para abrir el interruptor principal y a la vez el interruptor de campo.

Mediante el estudio que se comenta en la parte de introducción esta protección tiene una característica de selectividad, velocidad de operación.

En la siguiente figura muestra cómo se encuentra conectado los transformadores de corriente para una protección diferencial en el generador.

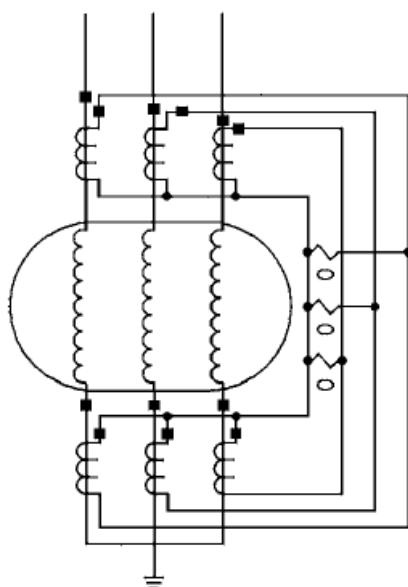


Figura 27 Protección diferencial
Fuente: Tutorial IEEE de Protección de generador síncrono

Al tener fallas externas a la zona de protección, pueden surgir corrientes altas en los TC provocando daños en los mismos. En tal caso si se produjera este tipo de anomalías la protección diferencial actuaría como una operación errónea, para prevenir esta situación se establece la corriente de estabilización creando la sumatoria de corriente en valores absoluto. (SALVADOR & CARCHIPULLA SACA, 2015)

$$I_{\text{estab}} = |I_1| + |I_2| \quad (2)$$

En este caso se utilizaría relés diferenciales de pendiente porcentual que son muy sensibles a corrientes débiles y poco sensibles a corrientes grandes.

A continuación se muestra la conexión de un relé diferencial porcentual en el generador.

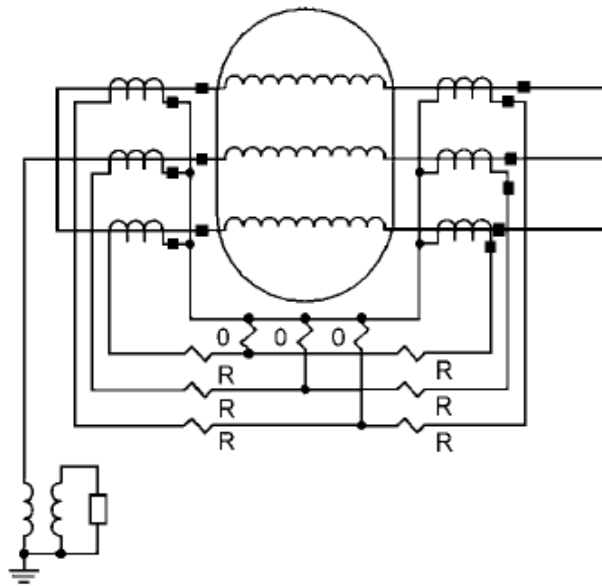


Figura 28 Protección diferencial porcentual
Fuente: Tutorial IEEE de Protección de generador síncrono

La característica de operación del relé diferencial porcentual cuando opera es por encima de la curva y cuando esta no opera es por debajo de la curva para mayor apreciación se muestra la siguiente figura.



Figura 29 Característica de operación de un relé diferencial porcentual
Fuente: Tutorial IEEE de Protección de generador síncrono

➤ **Protección de fallas a tierra en el devanado del estator**

Al generador por tener una puesta a tierra se los clasifica como:

- Puesta a tierra de baja impedancia del estator
- Puesta a tierra de alta impedancia del estator

Cuando se tiene una puesta a tierra de baja impedancia las corrientes de corto circuitos de fase a tierra son muy elevadas lo que ocasionaría daños graves en la estructura del generador, pero al tener tensión de fase- fase se entenderá como fase fallada porque generara una disminución del 58% en su valor nominal, además se tendrá un ligero desplazamiento de la tensión del neutro.

Al tener una puesta a tierra de alta impedancia la corriente de cortocircuito es muy pequeña, pero con un completo desplazamiento de la tensión del neutro provocando fallas en el aislamiento del generador

➤ **Método de protección del estator con baja impedancia**

En este método de protección del estator con baja impedancia las corrientes de cortocircuitos son altas para ello se tiene:

➤ **Protección diferencial a tierra (87GN)**

Para ello se presenta siguiente figura que explica el funcionamiento y sus componentes:

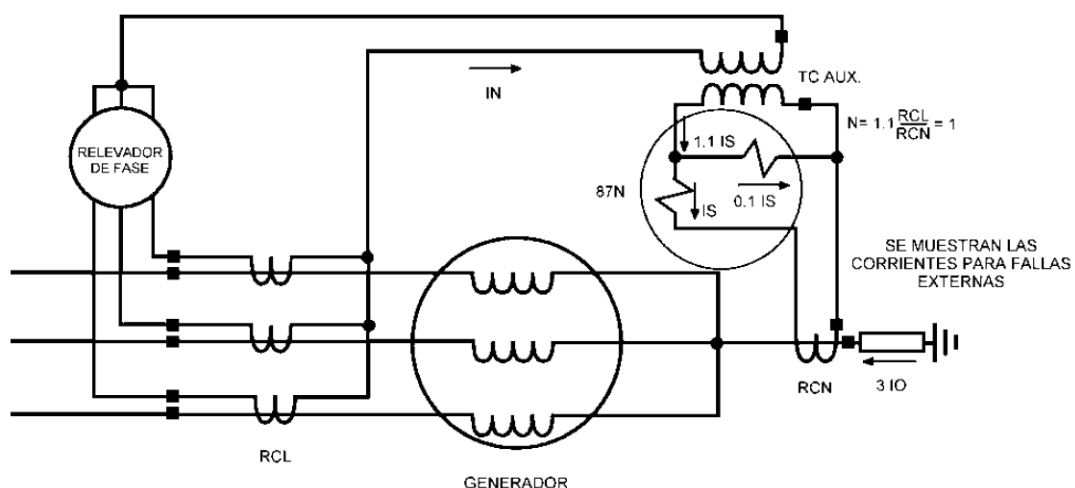


Figura 30 Esquema diferencial a tierra (87GN)

Fuente: Tutorial IEEE de Protección de generador síncrono

Este esquema emplea un relé de sobrecorriente direccional, que ayuda a comparar corrientes de secuencia cero que circula por el neutro y por los devanados. Como se puede apreciar se ha utilizado 3 TC's para medir la corriente de secuencia cero en los devanados mientras que para medir la corriente de secuencia cero en el neutro solo existe 1 TC.

Bajo condiciones normales de operación la corriente de secuencia cero en los secundarios de los TC's se anula por lo tanto el relé no va actuar, lo mismo ocurrirá para fallas trifásicas y para fallas bifásicas. (CERVANTES, 206)

➤ Método de protección del estator con alta impedancia

Mediante la siguiente figura se puede apreciar un esquema con puesta a tierra. Cuando la corriente circula y se presenta una falla a tierra, la falla es tan débil que la protección no actúa y si la falla sucede cerca del neutro del generador la protección diferencial no detecte estas anomalías, por lo tanto, se tiene que emplear otras protecciones al sistema eléctrico.

3.2.1.2 Protección para fallas en el 95% del estator (59GN y 51GN).

en la siguiente figura se puede apreciar la protección (59GN) o más conocido por normas ANSI como relé de sobretensión con retardo de tiempo, que está conectada en paralelo a la resistencia de puesta a tierra con la finalidad de detectar tensiones de secuencia cero.

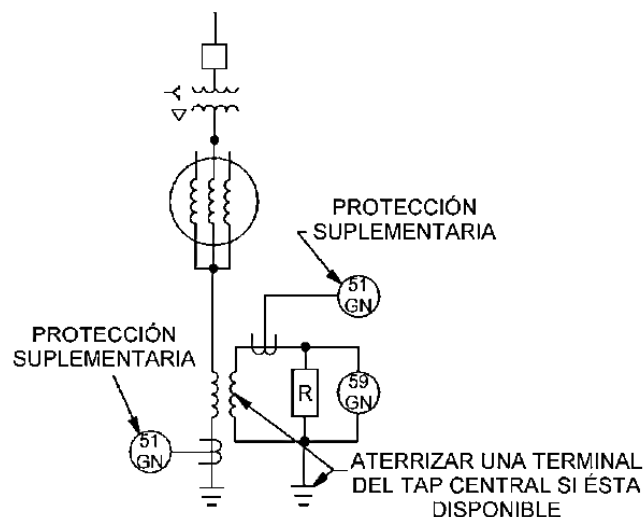


Figura 31 Protección para fallas en el estator (59GN y 51GN)
Fuente: Tutorial IEEE de Protección de generador síncrono

Debido a que el relé está hecho para detectar una frecuencia precisa el relé no se activaría erróneamente al detectar tensiones de tercer armónico de secuencia cero que por lo general se presenta cerca del neutro del generador.

Al estar utilizando un transformador de distribución en la puesta a tierra del generador lo más lógico es utilizar un relé de sobrecorriente temporizado (51GN) permitiendo que este relé esté ajustado de tal forma que no actúe al detectar corrientes de desbalance normal o armónico de secuencia cero.

3.2.1.3 Protección para fallas en el 100% del estator (27H)

Como ya se explicó en el diagrama anterior el relé (59GN Y 51GN) protege un 95% de las fallas a tierra del devanado del estator, por lo tanto, para cubrir el 5% restante se implementará el relé (27H) de baja tensión que es para detectar tensiones de tercer armónico (180 Hz) logrando tener una protección del 100% del equipo o sistema de puesta a tierra del generador como se está hablando y demostrando en el esquema.

Como se sabe las tensiones de tercer armónico siempre se encuentra presente en el generador en menor y mayor cantidad, se propone cubrir esta falla utilizándolo en la parte del neutro donde tenemos tensiones de tercer armónico, mediante ello se obtendrá criterios para la actuación del relé. (27H) (MENDOZA, 2014)

Para la comprensión de las fallas de tercer armónico en el neutro del generador tendremos las siguientes características que se visualizarán en la siguiente figura.

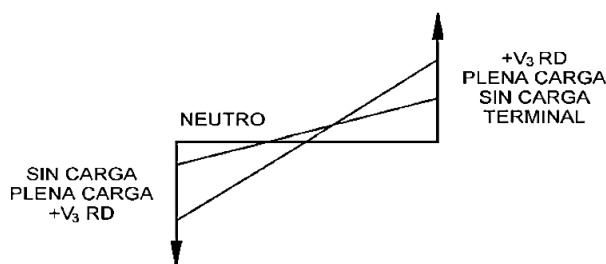


Figura 32 Nivel armónico en diferentes condiciones del generador en condiciones de operación: a) Operación Normal.
Fuente: Tutorial IEEE de Protección de generador síncrono

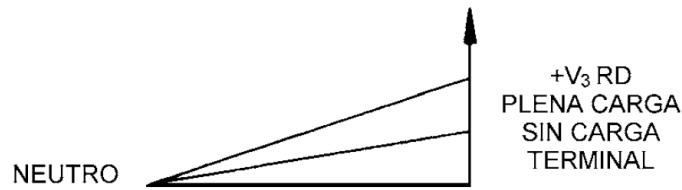


Figura 33 Nivel armónico en diferentes condiciones del generador en condiciones de operación: b) Falla en el Neutro.
Fuente: Tutorial IEEE de Protección de generador síncrono

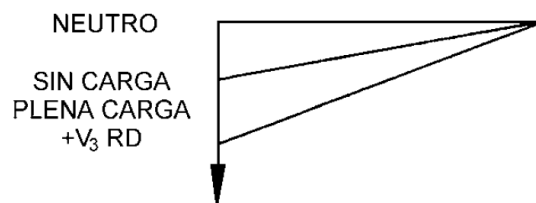


Figura 34 Nivel armónico en diferentes condiciones del generador en condiciones de operación: c) Fallas en Terminales.
Fuente: Tutorial IEEE de Protección de generador síncrono

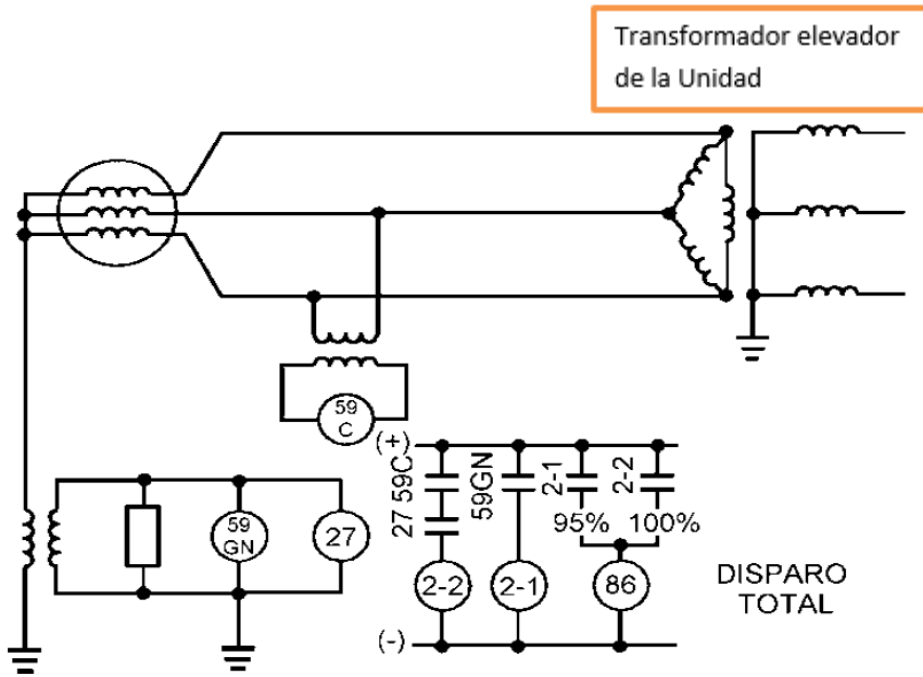
Dependerá de las tensiones de tercer armónico, en qué estado de operación se encuentra el generador para conocer su actuación en plena carga o en condiciones de operación sin carga, para ello se puede apreciar la figura a. (integratech, 2004)

Como se puede apreciar en la figura b al producirse fallas a tierra en el neutro la tensión del tercer armónico se vuelve cero, mientras que en los terminales del generador se incrementa. Dependerá el nivel de tensión del tercer armónico y en la condición de operación que se encuentre para determinar el decremento o incremento de la falla.

Mientras que la figura c la tensión del tercer armónico en los terminales del estator en condiciones anormales de falla a tierra se vuelve cero; y en el neutro la tensión de tercer armónico incrementa a plena carga y disminuye cuando se encuentra operando sin carga.

Para tener una eficiencia de actuación del relé al momento de actuar y así evitar cualquier operación incorrecta, el ajuste que se debe tomar en el relé de baja tensión de tercer armónico (27H) debe ser menor al estar el generador operando sin carga en condiciones normales.

Con esta protección surge una anomalía al momento de arrancar la máquina, ya que la tensión de tercer armónico significativo solo se presenta cuando este con carga, por lo tanto, la protección ejecutaría una operación errónea, para solucionar esta anomalía



Fuente: Tutorial IEEE de Protección de generador síncrono

Protección 59 sobretensión

$$V > V_{SET-OVER}$$

$$V > V_{SET-OVER} \quad t = T_{OVER}$$

$$V > V_{SET-UNDER}$$

$$V > V_{SET-UNDER} \quad t = T_{UNDER}$$

$$t = TMS * \left(\frac{1}{\left[\frac{V}{V_s} - 1 \right]} \right) \quad (3)$$

t = Tiempo de actuación del Relé (var. Ind.)

TMS = Constante de ajuste del Relé

temporizado, el relé tiene que actuar cuando existe una diferencia de magnitudes entre las espiras del bobinado.

3.2.1.5 Protección de desbalance de carga o de corriente de secuencia negativa. (46)

En un SEP se puede tener corrientes en secuencia negativa al provocar desbalance de carga al tener un circuito abierto y por fallas desbalanceadas, por tal motivo se tiene cuando el estator opera en condiciones normales existe corrientes de secuencia positiva provocando un campo magnético, pero cuando surge un desbalance de corrientes en las fases del generador provocan corrientes de secuencia negativas creando un campo magnético que gira al sentido contrario del rotor pero a velocidades iguales, teniendo por fallas corrientes de doble frecuencias.

En el daño al generador por fallas de corriente de doble frecuencia crea un efecto piel en el rotor lo cual provoca esfuerzos en los elementos superficiales tales como en la cuña y el anillo de retención para mayor explicación se indica la siguiente figura.

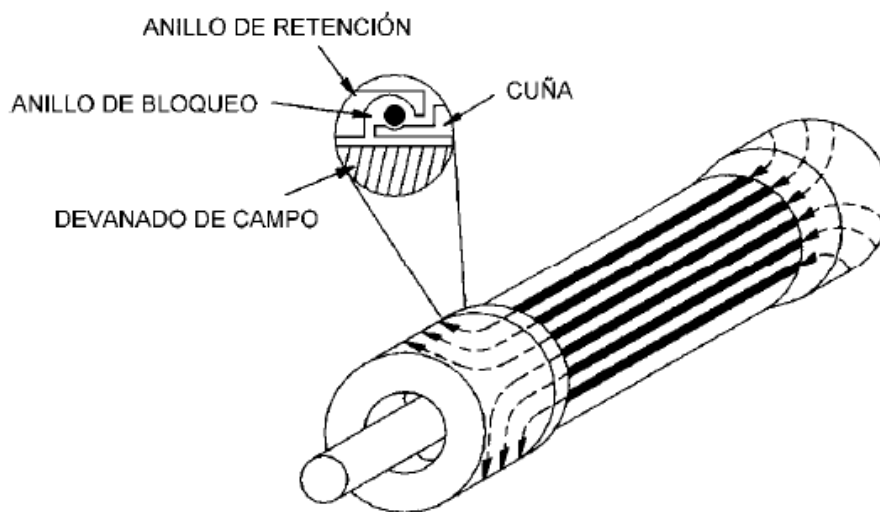


Figura 37 Corriente en la superficie del rotor
Fuente: Tutorial IEEE de Protección de generador síncrono

En el generador al tener corrientes inducidas al rotor provoca graves daños en tiempo reducidos creando temperaturas elevadas debido al campo magnético que se genera en el rotor producto de una oposición de la fuerza electromotriz así el giro del rotor. (integatech, 2004)

El generador no sufre daños al tener corrientes de secuencia negativa en un tiempo determinado, por tal motivo que el relé ayuda a este limitante para ello se proporciona la siguiente formula.

$$K = I_2^2 \left(\frac{I_2}{I_N} \right)^2 * t \quad (4)$$

I_2 = Corriente de secuencia negativa del estator en valores de RMS.

I_N = Corriente nominal de la máquina.

t = Es el intervalo de tiempo en segundos.

K = Es la constante que depende del diseño y capacidad del generador que soporta la corriente de secuencia negativa.

Para ello se lo demuestra mediante el esquema del relé de secuencia negativa mediante la siguiente figura.

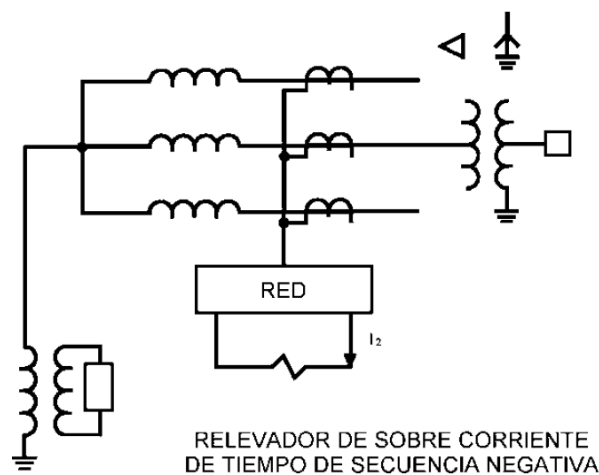


Figura 38 Relé de sobrecorriente de tiempo de secuencia negativa
Fuente: Tutorial IEEE de Protección de generador síncrono

En el esquema lo que se demuestra que la protección se encuentre calibrado, de tal forma de no operar al tener corrientes de secuencia negativa menores o iguales al régimen permanente. Además, el esquema tiene la función de prevenir al operador de que se encuentra la corriente de secuencia negativa cerca del límite de la magnitud dada, al superar la magnitud se tiene que desconectar la máquina para no producir daños permanentes en el generador.

3.2.1.6 Protección contra potencia inversa. (32)

La protección de potencia inversa tiene como finalidad de evitar absorber la potencia activa del sistema ya que esta se da cuando la potencia que entrega el generador es mayor a la potencia que entrega la turbina esto se da fundamentalmente porque en el generador existe perdidas eléctricas y mecánicas. Esto ocasiona que se genere graves daños en la turbina de la maquina al existir este tipo de falla. (Castaño)

Para ello se puede calcular a partir de la tensión y la corriente que mide el relé.

$$P = V_a * I_a * \cos\varphi_a + V_b * I_b * \cos\varphi_b + V_c * I_c * \cos\varphi_c \quad (5)$$

Para mayor entendimiento se presenta el siguiente esquema sobre protección contra potencia inversa en la siguiente figura.

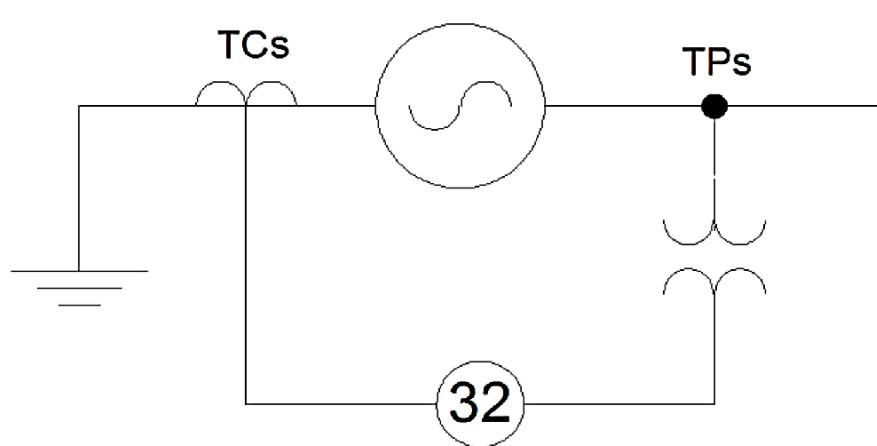


Figura 39 Protección contra potencia inversa (32)
Fuente: Protecciones eléctricas del generador. Beckwith Electric.

3.2.1.7 Relé de protección del generador por pérdida de sincronismo. (78)

Cuando el generador se encuentra en condiciones de pérdida de sincronismo a causa del acople magnético del estator y el rotor, esto se da al existir un cortocircuito en el sistema, baja tensión, oscilación del Fp., maniobra que son interrumpidas en el sistema. Y esto afecta al tener una máxima reactancia entre el generador y el sistema.

El generador actúa como amortiguador debido a la inercia que tiene, provocando que exista un desplazamiento de ángulo de potencia δ , debido a la variación que este realiza hasta encontrar un punto exacto donde la operación sea estable, si el ángulo de potencia supera los 180° la maquina pierde sincronismo, ocasionando que la maquina quede fuera de servicio.

Para detectar y visualizar la pérdida de sincronismo se debe analizar las variaciones en el tiempo de la impedancia aparente como es vista en los terminales del generador

y en el transformador en el lado de alta tensión. Para ello se implementa un relé de distancia tipo Mho (78) para detectar la variación de impedancia.

Como ya se explicó anterior mente para el relé de distancia tipo Mho (78) son señales de corriente y de tensión, mediante estas dos señales se encuentra la impedancia aparente para entender se revisará la siguiente figura. (integatech, 2004)

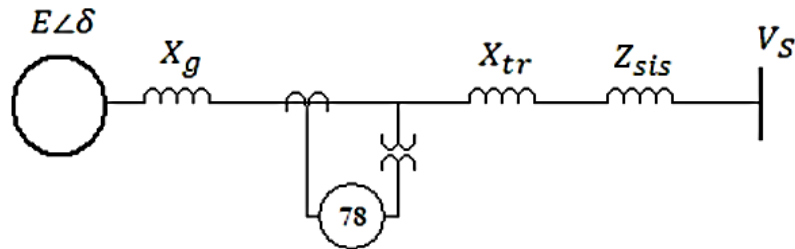


Figura 40 Ubicación de Conexión de un relé de distancia tipo Mho (78)
Fuente: Protección de generador eléctrico. Calero F.

El relé tiene que ser ajustado de tal manera que la reactancia del eje directo del generador y la reactancia del transformador que actúen ante un disturbio y que operen para ángulos mayores a 120° .

Mediante la siguiente figura se pretende ver la calibración del relé de distancia tipo Mho (78) expresado en variables.

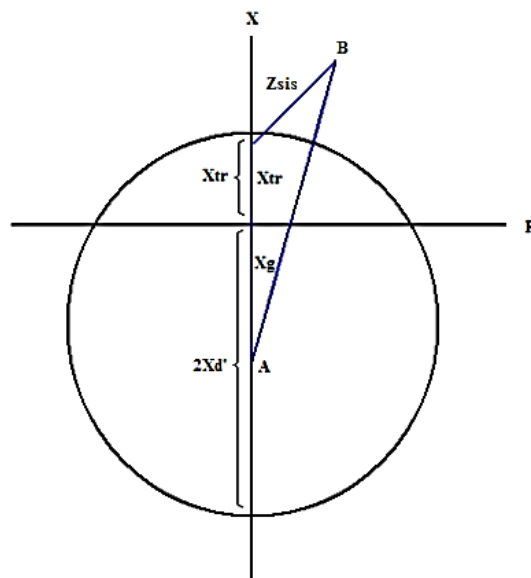


Figura 41 Calibración del relé de distancia tipo Mho (78) para detectar oscilaciones por pérdida de sincronismo.

Fuente: Protección de generador eléctrico. Calero F.

Para tener un ajuste adecuado del relé se debe especificar el alcance de la temperatura y de la impedancia.

- Característica Mho: Diámetro y ángulo
- Ajuste fase-fase (Z1),(Z2),(Z3)
- Ajuste de tiempo t1, t2, t3

Ajuste para la zona 1

$$Z1 = K * Z_L \quad (6)$$

Donde

Z1: Ajuste de Zona 1.

K: Constante.

Z_L : Impedancia de secuencia positiva de la línea.

Se recomienda para la constante K la impedancia de la línea sea del 85%. Mientras que para líneas cortas la constante debe ser del 70%.

Tiempo de zona 1: Instantáneo (0 ms)

Ajuste para la zona 2

$$Z2 = K * Z_L \quad (7)$$

Donde

Z1: Ajuste de Zona 2.

K: Constante.

Z_L : Impedancia de secuencia positiva de la línea.

Se recomienda que para la constante K de la impedancia sea de 120% al 150%.

Tiempo de zona 2: De 300 a 400 (ms)

Ajuste para la zona 3

$$Z3 = 100\%Z_L + K * Z_{L2} \quad (8)$$

Donde

Z1: Ajuste de Zona 3.

K: Constante.

Z_L : Impedancia de secuencia positiva de la línea.

Z_{L2} : Impedancia de secuencia positiva de la línea adyacente más larga.

En la zona 3 se limita a niveles de voltaje sobre ajustar del tiempo de operación que no sea superior a otros sistemas de protección con referencia a nivel de tensión.

Tiempo de zona 3: de 800 a 1000(ms)

3.2.1.8 Protección contra pérdidas de excitación o pérdida de campo 40G.

El generador síncrono como tal utiliza corriente y tensión de C.D., mediante la curva de capacidad podemos determinar las posibilidades de operación ya que al tener pérdida de campo tendremos una caída de tensión en la cual va a generar que funcione como generadores de inducción que gira a una velocidad síncrona mayor.

Para ello se muestra en la siguiente figura la curva de capacidad del generador n° 3 de la Hidroeléctrica Minas San Francisco.

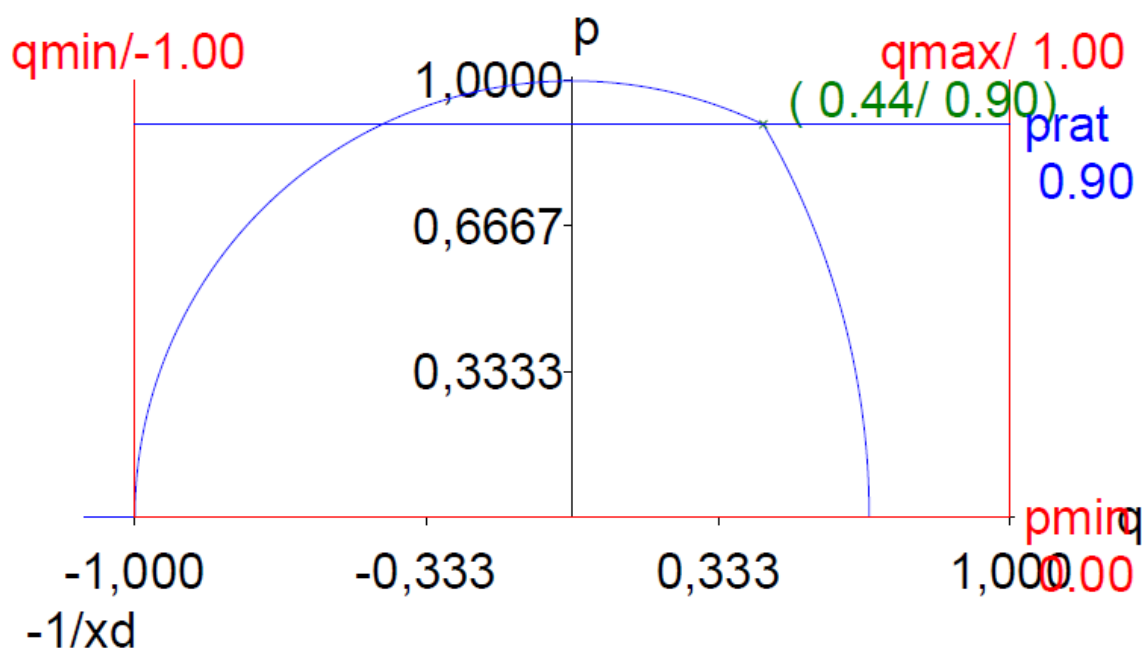


Figura 42 Curva de capacidad del generador n° 3 de la Hidroeléctrica Minas San Francisco.
Fuente: Propia

En la siguiente figura se muestra las siguientes posibilidades de operación que se tiene con la protección contra pérdida de campo (40). En la siguiente figura se muestra

las posibilidades de operación es normal y anormal de un generador síncrono ya que en el primer cuadrante se puede apreciar que en operación normal, exporta potencia activa y reactiva, mientras que en el cuarto cuadrante cuando se opera en condiciones anormales se tiene un consumo de reactivos de la red. (Castaño)

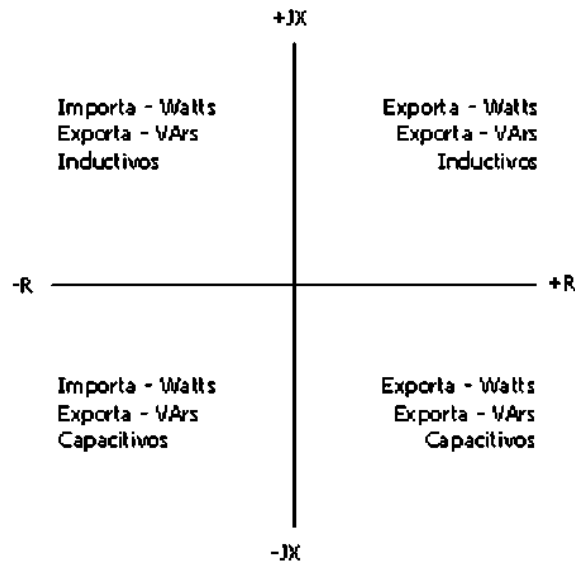


Figura 43 Diagrama de operación normal y anormal del relé de pérdida de campo según el cuadrante
Fuente: Samuel Ramírez Castaño

También se puede apreciar una característica típica que se tiene en una protección contra pérdida de campo tipo Mho. Desplazado.

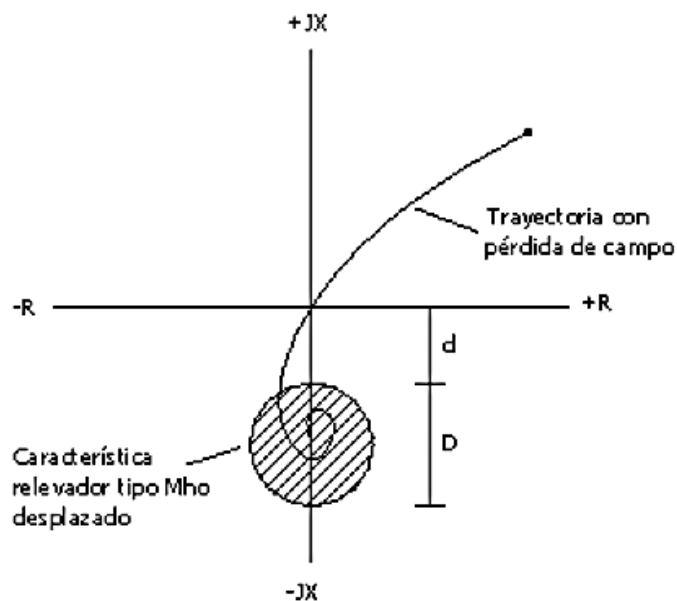


Figura 44 Característica contra pérdida de campo tipo Mho desplazado.
Fuente: Samuel Ramírez Castaño

Tenemos que

$D = X_d =$ Reactancia síncrona

$$d = \frac{1}{2} X_d^1 = \frac{1}{2} \text{ (Reactancia transitoria)} \quad (9)$$

3.2.1.9 Protección contra sobre excitación del generador 24G.

Esta protección actúa cuando la relación de frecuencia y tensión (Volt/Hertz) que se aplica en los terminales excede el valor al cual fue construido dicho generador que por lo común suele ser de 1.05 pu (base del generador).

Al exceder el valor de V/Hz que viene dada en el generador por el fabricante, provoca una saturación en el núcleo magnético, creando en los componentes no laminados una inducción.

Por lo común la sobre excitación se da al momento de arrancar el generador y parada del mismo por motivos que la frecuencia va a ser menor que la nominal, por el contrario, la tensión nominal se mantiene por la existencia del regulador.

Mediante la curva de capacidad que se tiene en el generador se lograra la calibración del relé de pérdida de excitación 24. (integatech, 2004)

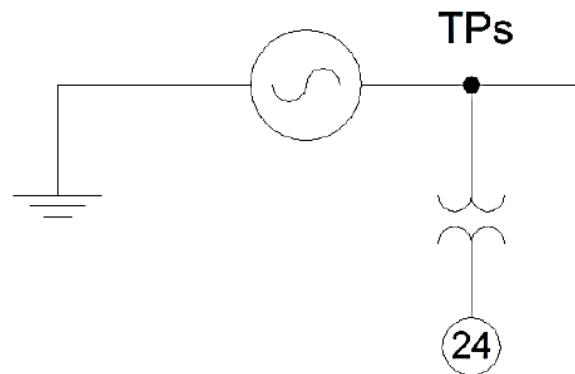


Figura 45 Protección contra sobreexcitación 24.
Fuente: Protecciones eléctricas del generador. Beckwith Electric.

3.2.1.10 Protección de frecuencia 81O/81U.

Se conoce que un sistema eléctrico la carga no es contante, debido a que la carga varía contantemente, surge la variación de frecuencia en la red, provocando graves

daños en el generador al no ser estas controladas, debido que en la red se tienen sobre frecuencia y baja frecuencia.

La sobre frecuencia en el sistema eléctrico es provocado porque la potencia mecánica que entrega la turbina es mayor a la potencia que demanda la carga que da como resultado una aceleración en el rotor. Se considera que actúa el regulador de velocidad disminuyendo la entrada de agua a la turbina, con la finalidad que se regule la potencia de la turbina.

Mientras que la baja frecuencia en el sistema eléctrico se da porque la potencia mecánica que entrega la turbina es menor a la potencia que demanda la carga y esto se da al tener un incremento de carga o alguna falla en el regulador de velocidad, al ser persistente dicha baja frecuencia se tendrá que desconectar carga con la finalidad de obtener un balance entre la potencia que entrega la turbina y la potencia que demanda la carga, por lo tanto a la baja frecuencia se le considera más crítica.

La protección 81.O es para la protección de sobre frecuencias, utiliza como respaldo del regulador de velocidad, y la protección 81U es para la protección de baja frecuencia y se utiliza con el esquema de alivio de carga.

La siguiente ecuación se realiza para el cálculo de los relés 81u-81o:

Protección sobrefrecuencia 81o

$$f > f_{SET-OVER} \quad t = T_{OVER}$$

Protección sobrefrecuencia 81u

$$f < f_{SET-UNDER} \quad t = T_{UNDER}$$

$$\frac{df}{dt} \geq r \quad (10)$$

3.2.2 Protecciones de Transformador.

Las protecciones que se tiene en el transformador de potencia no representan muchas anomalías por ser maquinas estática, estas anomalías pueden variar dependiendo de la potencia del transformador que se va a proteger.

Por lo cual los transformadores de potencia se utilizan las siguientes tipos de protecciones: protección contra sobrecargas, protección de elevación de temperatura

de aceite, protecciones contra cortocircuitos y condiciones anormales de operación.
(Martínez, 2014)

La principal falla de los transformadores se tiene en los aislamientos que son causados por:

- Las elevaciones de temperatura que sobrepasan los niveles que soporta los devanados.
- Sobrevoltaje y maniobras ejecutadas en mantenimientos.
- Las sobrecargas permanentes o temporales que son presentadas en condición de operación normales y esta se presentan como un cortocircuito entre espiras de una misma fase.

Las protecciones que se tiene en el transformador de potencia no representan muchas anomalías por ser maquinas estática, estas anomalías pueden variar dependiendo de la potencia del transformador que se va a proteger.

Por lo cual los transformadores de potencia se utilizan las siguientes tipos de protecciones: protección contra sobrecargas, protección de elevación de temperatura de aceite, protecciones contra cortocircuitos y condiciones anormales de operación.
(CENACE, 2001)

La principal falla de los transformadores se tiene en los aislamientos que son causados por:

- Las elevaciones de temperatura que sobrepasan los niveles que soporta los devanados.
- Sobrevoltaje y maniobras ejecutadas en mantenimientos.
- Las sobrecargas permanentes o temporales que son presentadas en condición de operación normales y esta se presentan como un cortocircuito entre espiras de una misma fase.

3.2.2.1 Protección diferencial (87T)

La protección diferencial es una de las más importantes que se tiene en el transformador es muy semejante a la protección que se utiliza para el generador (87G), pero existe una diferencia al ser transformador tenemos diferentes medidas de corriente

como para el lado primario y lado secundario del transformador de potencia, para ello se utiliza un transformador de corriente TC's con distinta relación de transformación con la finalidad que la corriente que se tiene en el lado secundario sea igual a la del primario, para ser semejantes.

El principio de funcionamiento de la protección diferencial es igual a la del generador.

Esta protección se la utiliza para detectar cortocircuitos entre fase, cortocircuitos a tierra e incluso cortocircuitos entre espiras, al detectar esta falla la protección actúa al no considerar la relación de transformación que se tiene porque se generara una falla en el secundario. (integatech, 2004)

En la siguiente figura se muestra una conexión de la protección diferencial porcentual para transformadores.

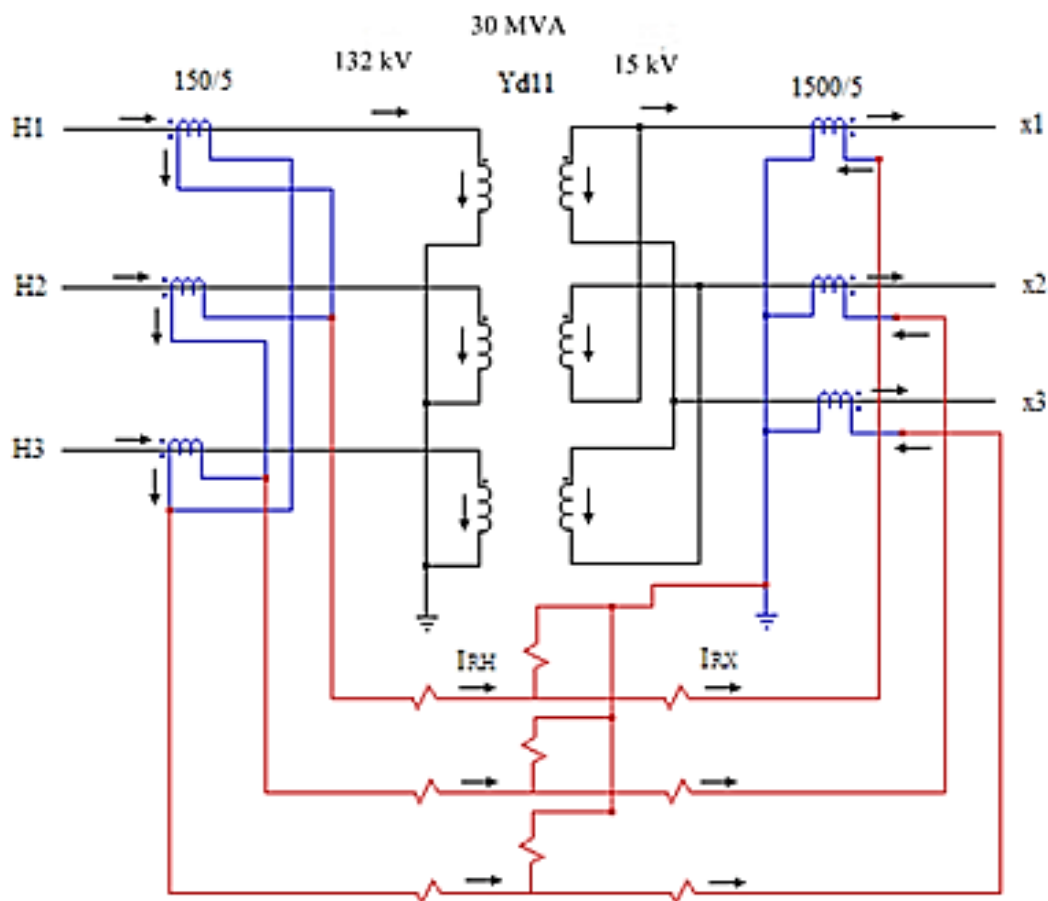


Figura 46 Protección diferencial 87 T

Fuente: Protección diferencial del transformador 87T. Andrés Graner

3.2.2.2 Protección Sobrecorriente. (50/51)

La protección contra sobrecorriente es un respaldo de la protección diferencial, que actúa contra fallas externas no despejadas, las cuales dichas fallas pueden causar

sobrecalentamiento en los devanados y daños graves a los aislamientos del transformador.

La calibración del relé de sobre corriente temporizado 51, actúa con un valor de corriente de arranque del 125% y 150% tomando en cuenta la corriente de magnetización (Inrush) y sobrecargas que se genera en el transformador de potencia. Por tal motivo este relé para su calibración se tiene que tener una coordinación con los relés aguas abajo del transformador de potencia evitando que nuestra protección actúe sin considerar los demás parámetros que se tiene. (integatech, 2004)

Para el relé de sobre corriente instantáneo 50, la corriente de operación debe ser superior a la máxima corriente de fallas simétrica con la finalidad de que esta opere antes de que actúe la protección propia del sistema, para ello se considera el valor de corriente de arranque suele ser 175% de la máxima corriente de falla.

Ecuación para realizar el ajuste de protección del relé 50/51- 50N/51N

$$t = TMS \cdot \left(\frac{K}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^2} + C \right) \quad (11)$$

Donde

t = Tiempo de actuación del Relé (var. ind.)

I = Corriente que mide el Relé (var. ind.)

α = Parámetro que define la curva característica de operación del Relé

I_s = Corriente de Arranque del Relé

TMS = Constante de ajuste del Relé

K = Parámetro que define la curva característica de operación del Relé

C = Constante de ajuste del Relé

3.2.2.3 Protección Sobrecorriente a Tierra. (50/51N)

Esta protección de sobre corriente a tierra se la utiliza para medir las corrientes de secuencia cero en el neutro del transformador, esto surge al detectar una falla a tierra que se produce en los devanados del transformador.

El esquema de conexión se muestra en la siguiente figura.

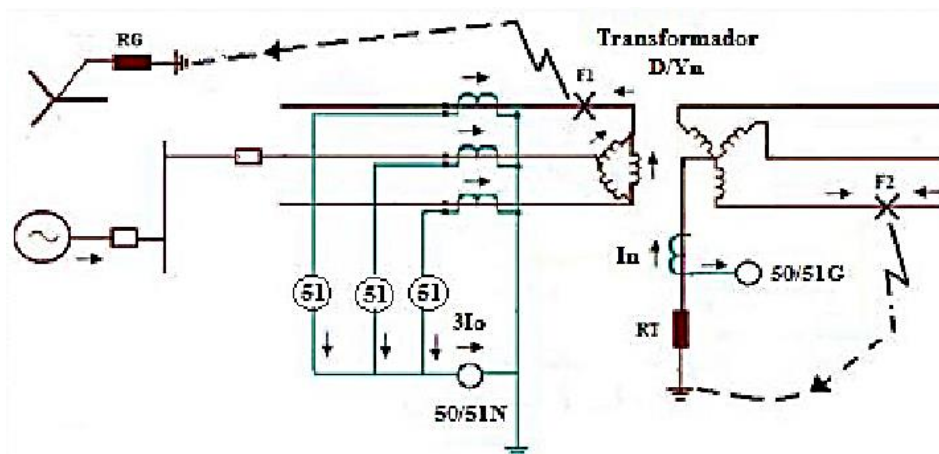


Figura 47 Esquema de protección de sobre corriente.
Fuente: Protección de generadores eléctricos. Calero Freire Iván.

CAPITULO 4.

4. SOFTWARE DIGSILENT POWER FACTORY SIMULACION Y ANALISIS.

4.1 Introducción DlgSILENT Power Factory.

El software DlgSILENT Power Factory es la herramienta que se ha tomado para el cálculo del estudio de coordinación de protecciones de la Hidroeléctrica Minas San Francisco de la Unidad 3.

DlgSILENT significa (Digital Simulation and Electrical Network calculation program) que en español significa Programa De Cálculo De Redes Eléctricas Y Simulación Digital.

Se puede calcular:

- Corriente de cortocircuito máximo, con el beneficio de poder identificar la capacidad de los equipos a instalar.
- Corriente de cortocircuito mínimo, nos permite el cálculo de fusibles o para el cálculo de protecciones.
- Corriente de cortocircuito del SNI como referencia de la tensión del flujo de carga del sistema, que emplea el estudio para la coordinación de protecciones.

4.1.1 Coordinación de protecciones.

Para el tema de estudio que se está desarrollando con respecto al sistema eléctrico y dispositivo de protecciones se ha optado como principal iniciativa el cálculo de la corriente de cortocircuito para el tramo de MINAS SAN FRANCISCO 230KV – MILAGROS 230KV en la barra de MILAGROS, y para el tramo de MINAS SAN FRANCISCO 230KV – MACHALA 230KV en la barra de MACHALA.

La confiabilidad que se tendrá para la distribución de energía desde la HIDROELÉCTRICA MINAS SAN FRANCISCO hasta MACHALA O MILAGROS dependerá de las protecciones que se tendrá en la generación como también en la distribución, de tal manera que actúen contra fallas del sistema, perturbaciones internas o externas, sobre corriente, sobre carga, baja frecuencia entre otras.

El principio de funcionamiento de las protecciones es detectar, aislar la falla y dejar fuera de servicio la zona de falla.

4.2 SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE POTENCIA.

4.2.1 *Objetivo sobre el sistema de funcionamiento.*

Determinar los niveles de voltaje, flujo de carga en las líneas, valores de cortocircuitos y análisis de protecciones.

- Zona Milagro - Minas San Francisco.
- Zona Machala - Minas San Francisco.

4.2.2 *Alcance sobre el sistema de funcionamiento.*

El presente estudio va determinar el flujo de carga en las líneas que se conectan a la central Minas San Francisco, estudio de cortocircuitos y coordinación de protecciones en la:

- Zona Milagro - Minas San Francisco.
- Zona Machala - Minas San Francisco.

4.2.3 *Desarrollo del estudio.*

Para el desarrollo del estudio se toma los parámetros entregados por Unidad De Negocio Celec Ep Hidrojubones.

4.2.3.1 *Datos.*

UNIFILAR

Diagrama unifilar sobre la topología de análisis de coordinación de protecciones eléctricas zonas

- MILAGRO 230KV – MINAS SAN FRANCISCO
- MACHALA 230 KV – MINAS SAN FRANCISCO

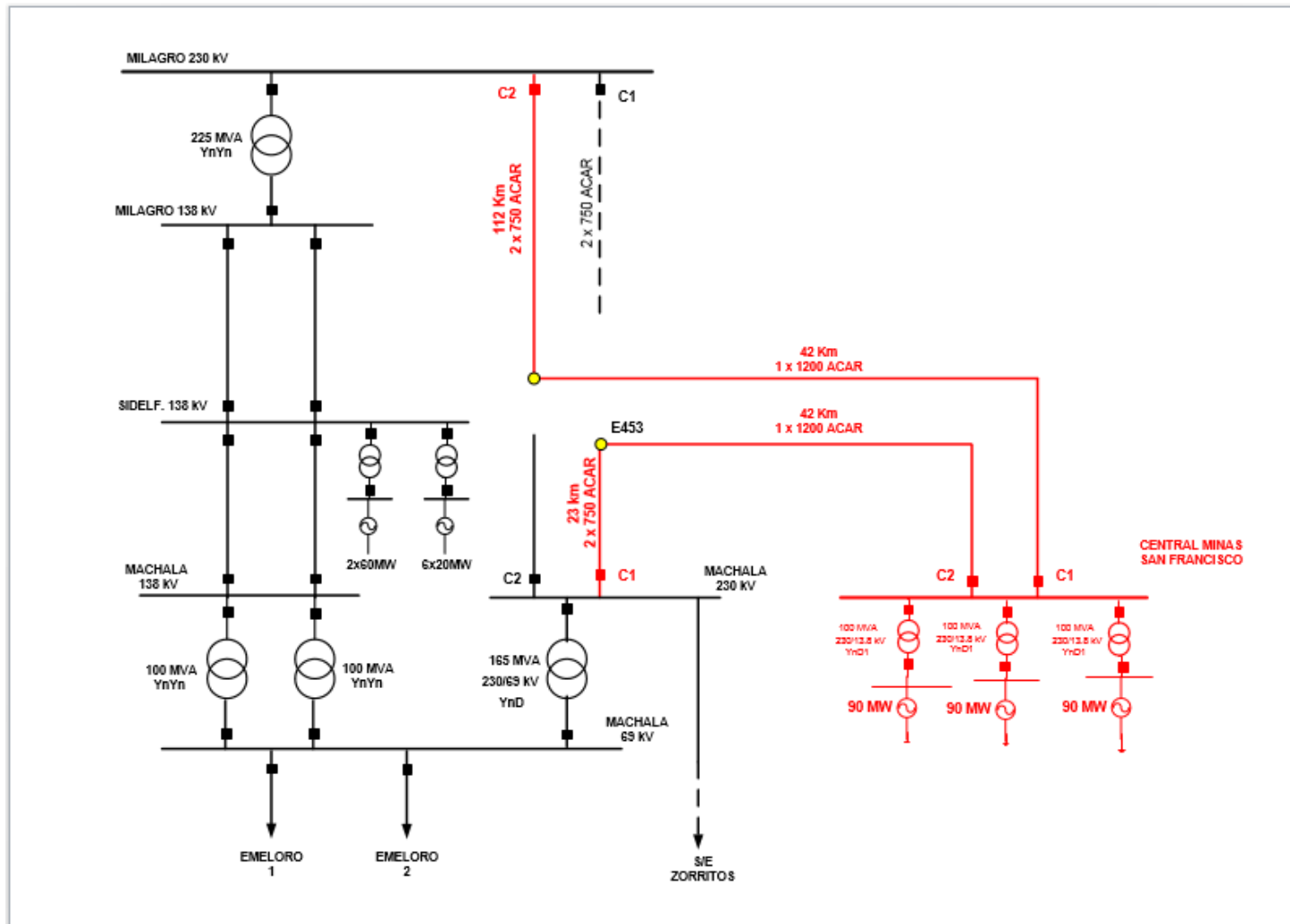


Figura 48 diagrama unifilar de la topología sobre zonas de MILAGRO 230KV – MINAS SAN FRANCISCO; MACHALA 230 KV – MINAS SAN FRANCISCO

Fuente: Unidad De Negocio Celec Ep Hidrojubones.

DATOS DE LAS LÍNEAS.

Tabla 3 datos de la línea de transmisión

LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.														
Nombre	Zona	Voltaje	Calibre Conductor	Capacidad				Longitud	R1	X1	B	R0	X0	B0
				Nominal		Emergencia								
		kV		A	MVA	A	MVA	km	Ohm	Ohm	uS/km	Ohm	Ohm	uS/km
LINEA INTERNA	TORRE I01 - I29	230	1200 AWG (MCM)	677,759012	270			13,45	0,051	0,5411	0,57149	0,1439	0,5666	0,05448
LINEA EXTERNA	TORRRE E01 - E24	230	750 AWG (MCM)	677,759012	270			9,23	0,1314	0,3683	0,8316	0,1439	0,5524	0,5593
LINEA EXTERNA	TORRRE E24 - E43	230	750 AWG (MCM)	677,759012	270			6,76	0,1314	0,3683	0,8316	0,1439	0,5524	0,5593
LIMEA EXTRENA	TORRRE E43 - E70	230	750 AWG (MCM)	677,759012	270			9,75	0,1314	0,3683	0,8316	0,1439	0,5524	0,5593

Fuente: Unidad De Negocio Celec Ep Hidrojubones.

DATOS DE TRANSFORMADORES.

Tabla 4 datos de los transformadores respecto a potencia, voltaje, TAP.

Transformadores									
Nombre	Pot.Nom. HV MVA	Pot.Nom. MV MVA	Pot.Nom. LV MVA	Volt.Nom HV kV	Volt.Nom MV kV	Volt.Nom LV kV	Grupo Vectorial	Tap	LTC
Transformador U01	120	120	0	230	13.8	0	YNd1	± 2 x 2.5%	No
Transformador U02	120	120	0	230	13.8	0	YNd1	± 2 x 2.5%	No
Transformador U03	120	120	0	230	13.8	0	YNd1	± 2 x 2.5%	No

Fuente: Unidad De Negocio Celec Ep Hidrojubones.

Tabla 5 datos de los transformadores respecto a impedancia y reactancia

Impedancia de Secuencia Positiva						Impedancia de Secuencia Cero			Reactancia de Magnetización	
Vcc HV- MV	Vcc MV- LV	Vcc LV- HV	Pérd. Cu HV- MV	Pérd. Cu MV- LV	Pérd. Cu LV- HV	HV-MV uk0	MV-LV uk0	LV-HV uk0	Corr. vacío	Pér. Fe
%	%	%	kW	kW	kW	%	%	%	%	kW
12,14	0	0	316,42	0	0	45.66	0	0	0.06	67.77
12,14	0	0	316,42	0	0	45.66	0	0	0.06	67.77
12,14	0	0	316,42	0	0	45.66	0	0	0.06	67.77

Fuente: Unidad De Negocio Celec Ep Hidrojubones.

DATOS DEL GENERADOR.

Ver Tabla 1 Datos de placa del Generador de la unidad N°3

4.3 Software de simulación.

4.3.1 Modelación en DigSilent Power Factory V14.1

Para el presente estudio se modela en el software mencionado.

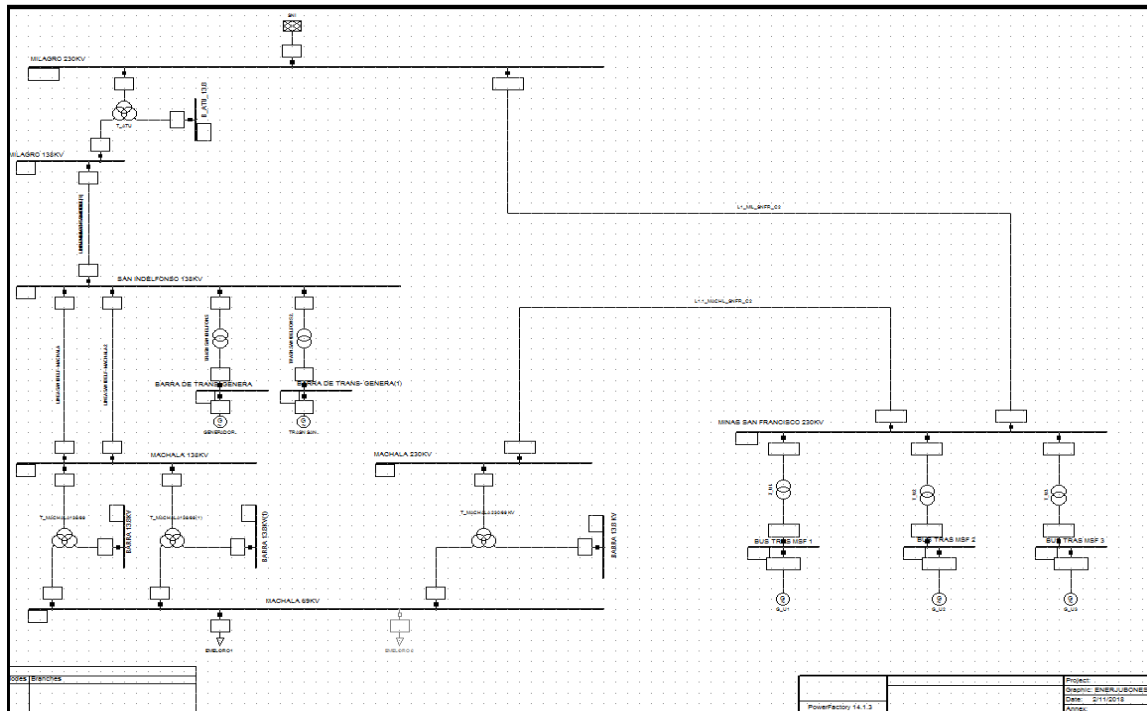


Figura 49 Red Modelada Zona Milagro-Minas San Francisco- Machala.

Fuente: propia

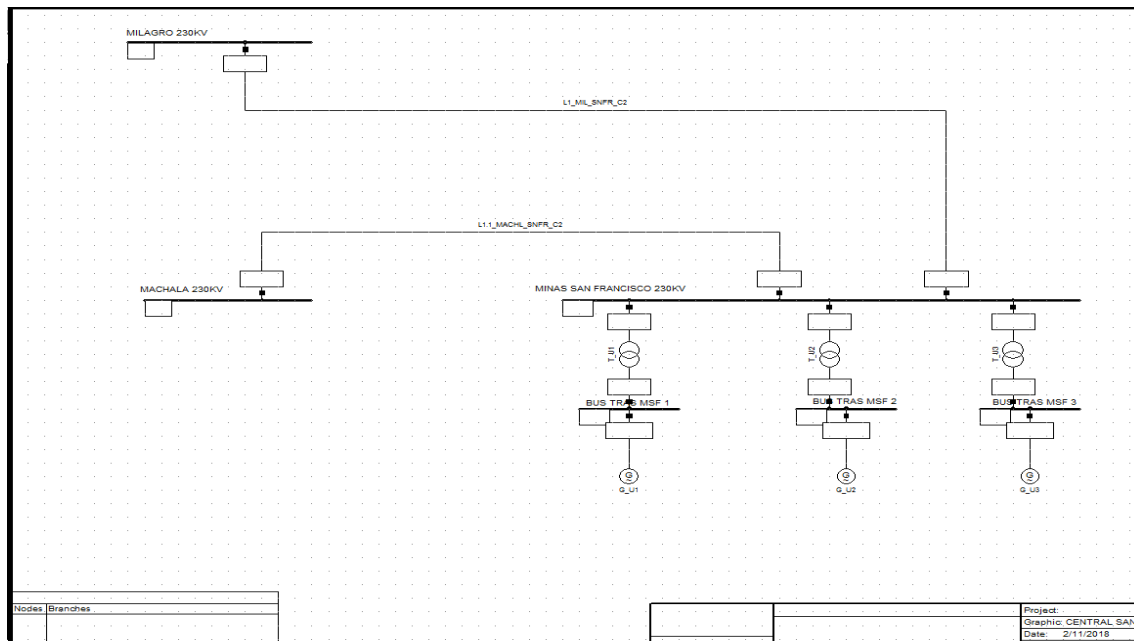


Figura 50 Zona Minas San Francisco.

Fuente: propia

4.3.2 Simulación de flujo de carga y niveles de voltaje.

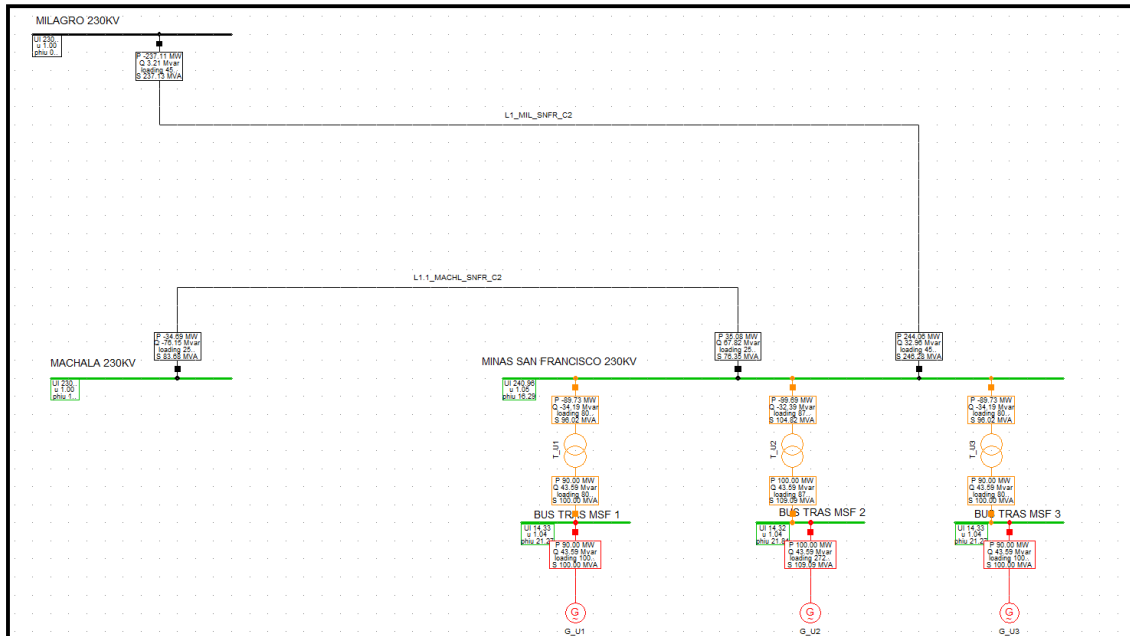


Figura 51 Demanda Máxima (Tres generadores).
Fuente: propia

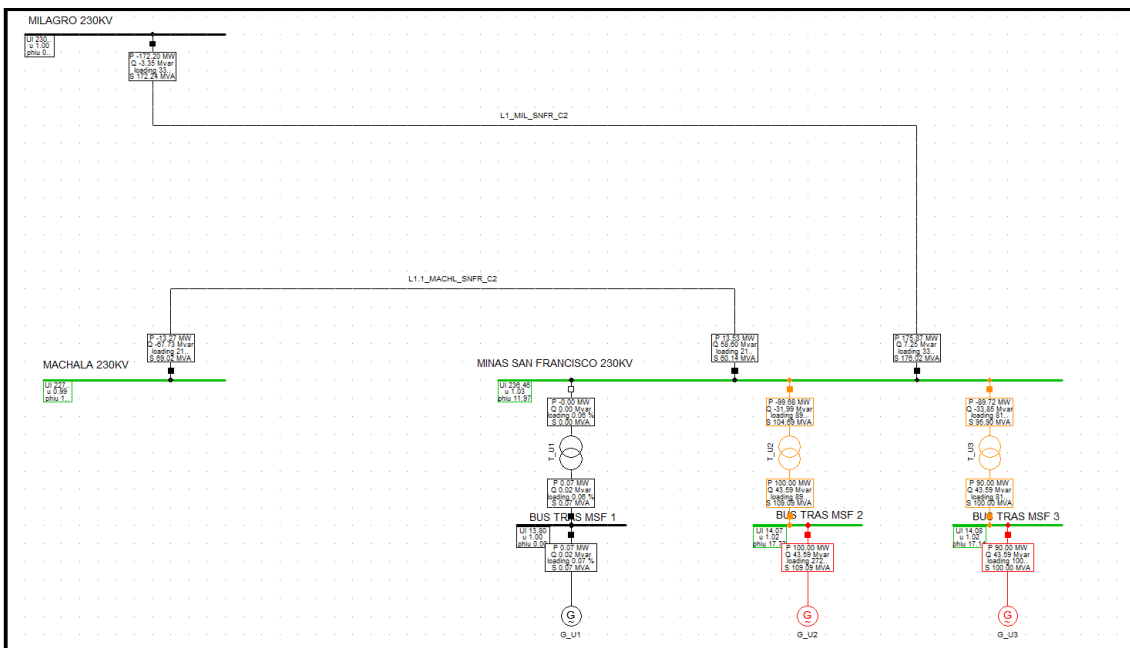


Figura 52 Demanda Máxima (Dos generadores).
Fuente: propia

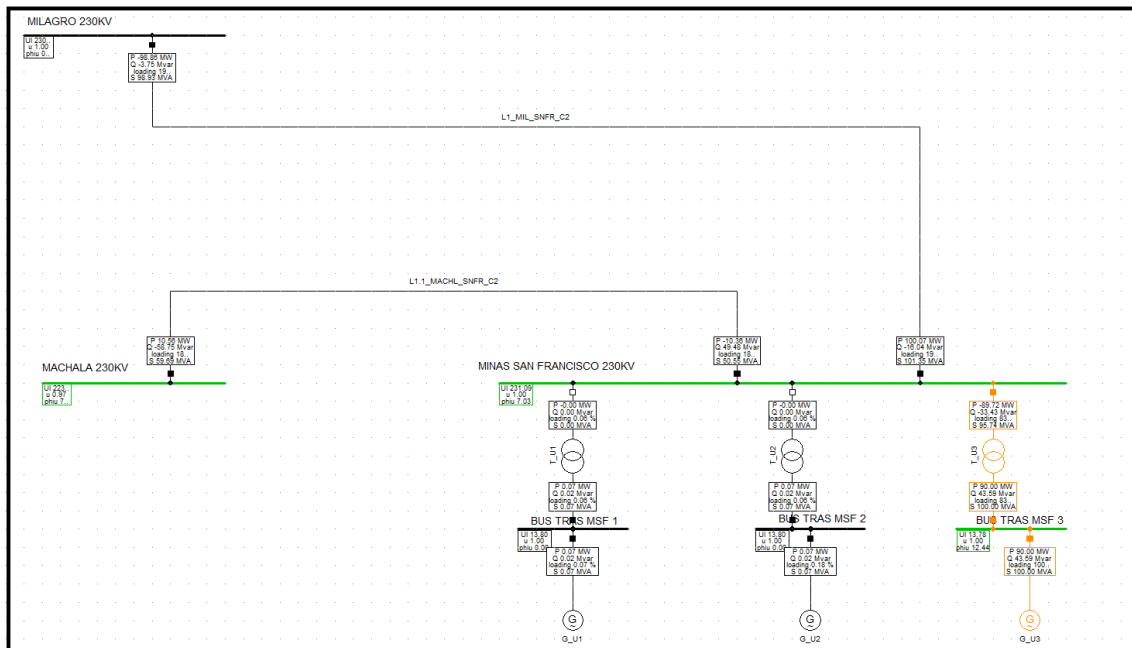


Figura 53 Demanda Máxima (Un generador)
Fuente: propia

De la simulación de los tres casos cuando se pierde la generación se puede concluir que el nivel más bajo de voltaje se da cuando solo está un generador en servicio, el nivel de voltaje llega 1pu.

4.3.2.1 Perdida línea Machala-Minas San Francisco (230kv).

En la siguiente contingencia debido a una falla en la línea Machala-San Francisco se determina el voltaje máximo que se presenta en las barras donde están conectados los transformadores y los generadores.

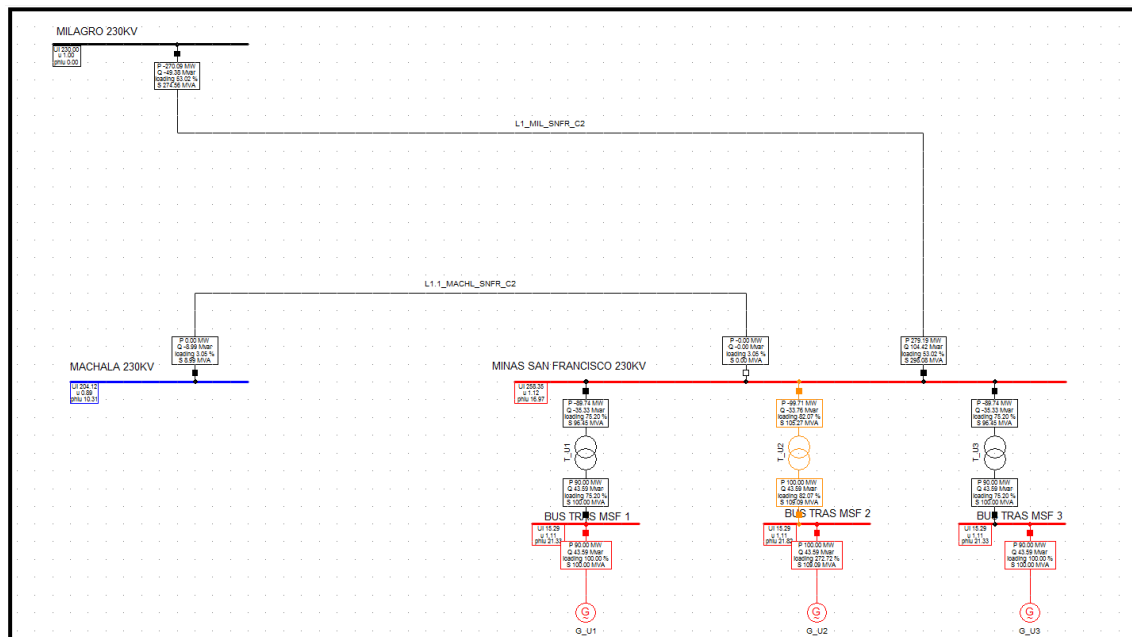


Figura 54 Perdida línea Machala-San Francisco
Fuente: propia

Se debe tener muy en cuenta en el ajuste de sobre voltaje en las barras de los generadores de manera que cuando se produzca una falla en la línea Machala-San Francisco, no provoque la apertura de los generadores.

4.3.3 Simulación de fallas y cortocircuito.

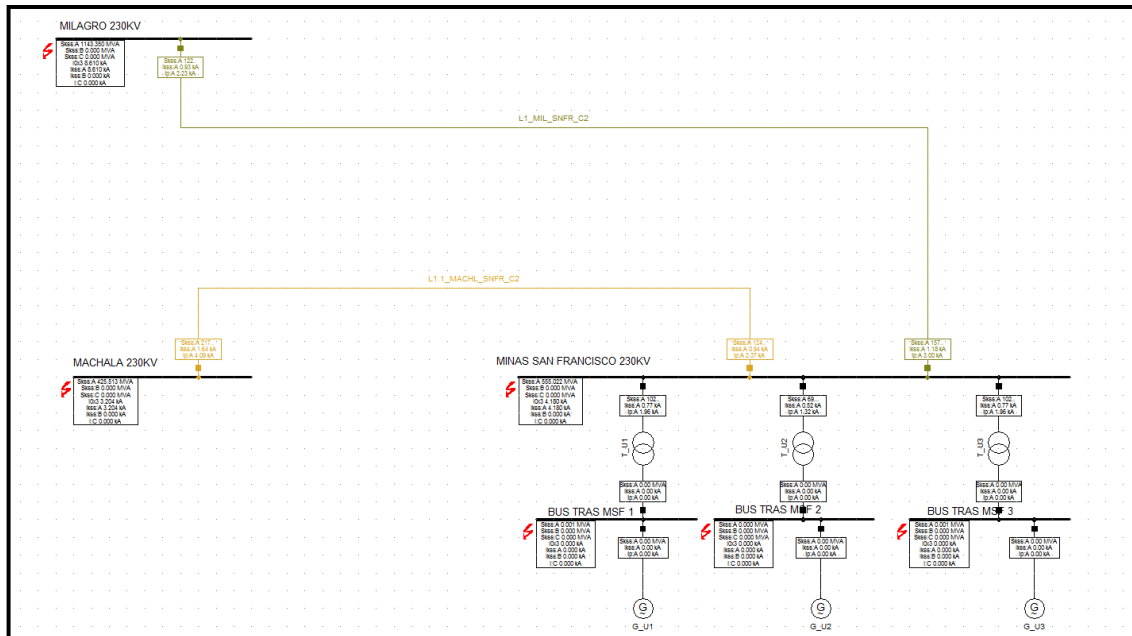


Figura 55 Fallas Monofásicas en las barras Zona Milagro- Minas San Francisco.
Fuente: propia

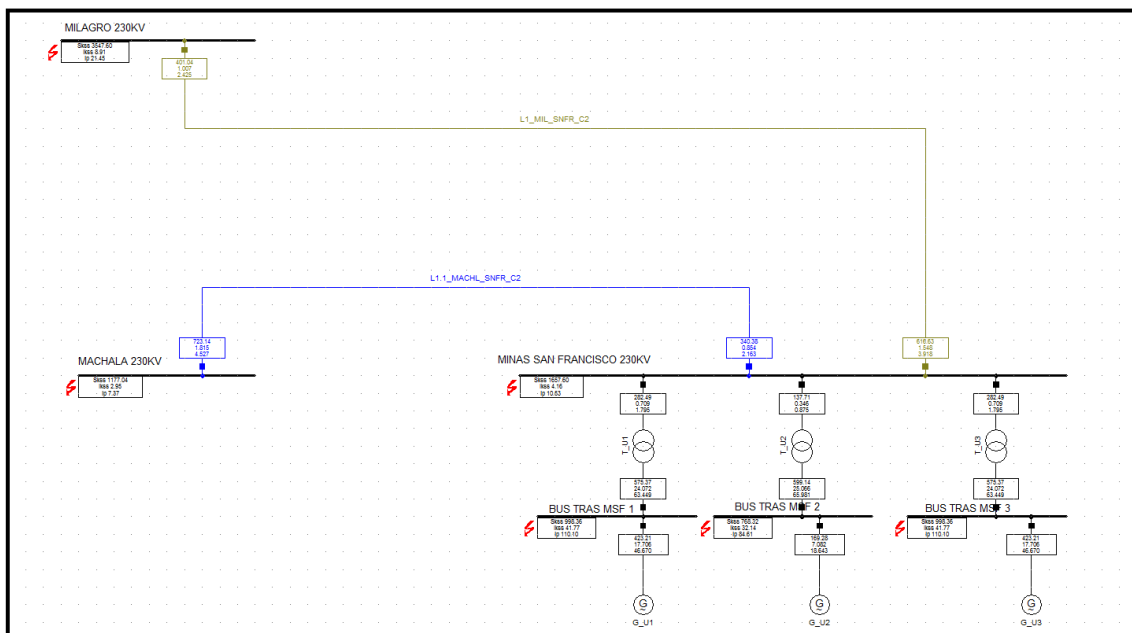


Figura 56 Fallas Trifásicas en las barras Zona Milagro- Minas San Francisco.
Fuente: propia

En este caso se describe sobre los criterios de la protección de distancia ya que se tiende a desarrollarse una polémica al no identificar de un relé de impedancia sobre un relé de distancia. El relé de distancia una de sus características es la medida de impedancia.

4.3.3.1 Características de la protección distancia.

- Impedancia: factor que no considera el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente que se tiene. Por lo tanto, el relé actuara en una medida menor que el ajuste.
- Reactancia: este relé determina los componentes reactivos de la impedancia.
- Cuadrilateral: actúa en conjunto mediante el relé de distancia y el relé direccional.

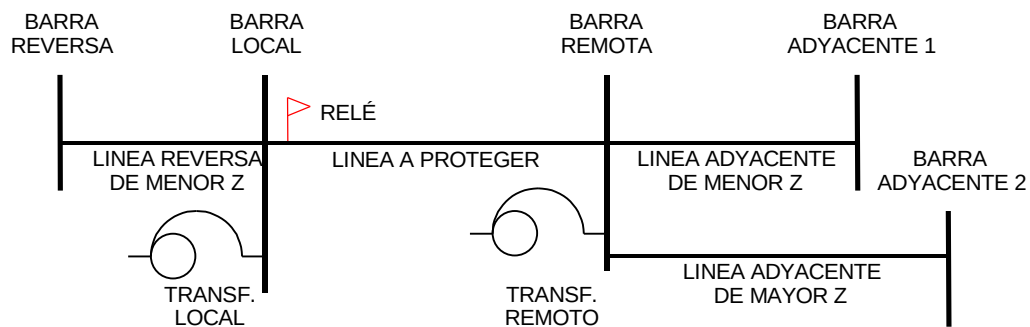


Figura 57 Diagrama unifilar básico sobre un SEP.
Fuente: Arturo Vidaurre (Esquema de Protecciones)

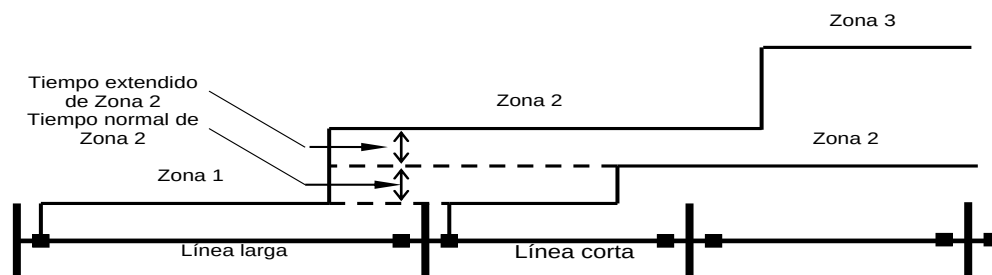


Figura 58 Zona de protecciones de distancia.
Fuente: Arturo Vidaurre (Esquema de Protecciones)

4.4 Estudio y simulación de flujo de potencia.

4.4.1 Criterios para el ajuste de la función 51 y 51n en los transformadores de la subestación San Francisco.

Tabla 6 Ajuste de los relé 51y 51n

Ajuste de la función 51 y 51n	
V	230KV
S	120MVA
$\sqrt{3}$	1.73
I	302 A
AJUSTE PARA EL RELE 51	
CRITERIO 1.5*(I CARGA)	
51 TAP	452
51N TAP (SECUNDARIO)	2.26
AJUSTE PARA EL 51N	
CRITERIO 51TAP/3	
51 TAP (SECUNDARIO)	0.75
EL DIAL PARA LAS DOS PROTECCIONES SE DEJA EN	
51 DIAL	0.15
51N DIAL	0.15
TIPO DE CURVA	
IEC STANDARD INVERSE	

Fuente: propia

4.4.1.1 Línea Milagro- Minas San Francisco (230kv)

Para las simulaciones respectivas se toma como modelo de relé con característica cuadrilateral, de la librería que tiene el DigSilent (el modelo del relé a utilizarse depende del trasmisor)

Para la simulación se analiza en función de los relés que se menciona:

Relé R1 (mira de Milagro a Minas San Francisco)

Relé R2 (mira de Machala a Minas San Francisco)

Relé RLI1, RLI2, RLI3 (en la barra de Minas San Francisco, protección de los transformadores)

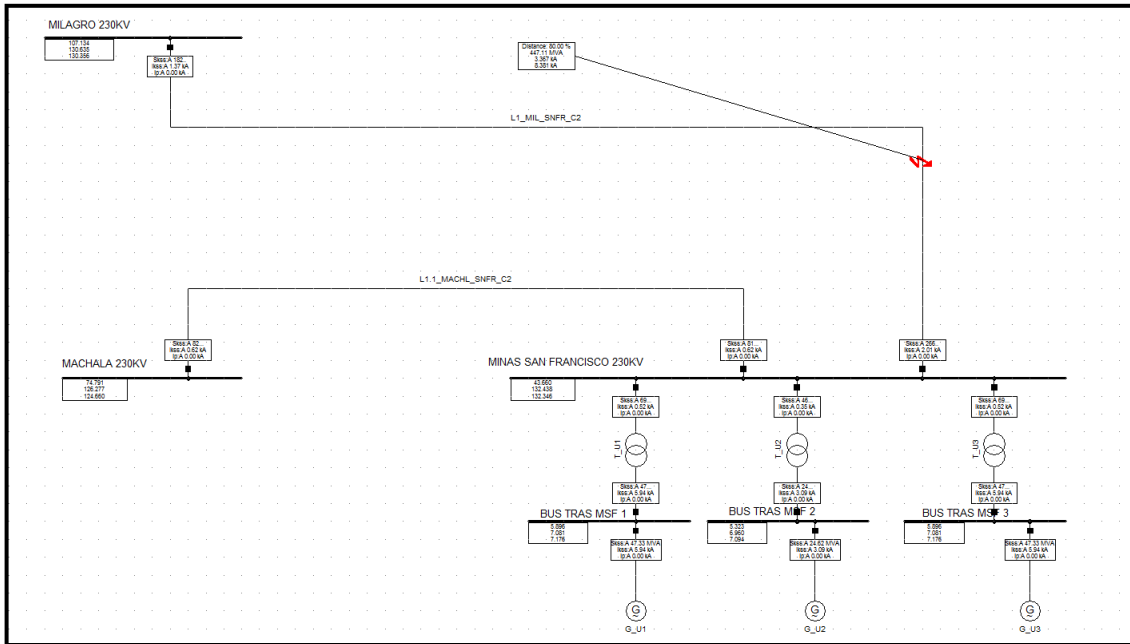


Figura 59 Falla Trifásica al 80% (Zona 1)

Fuente: propia

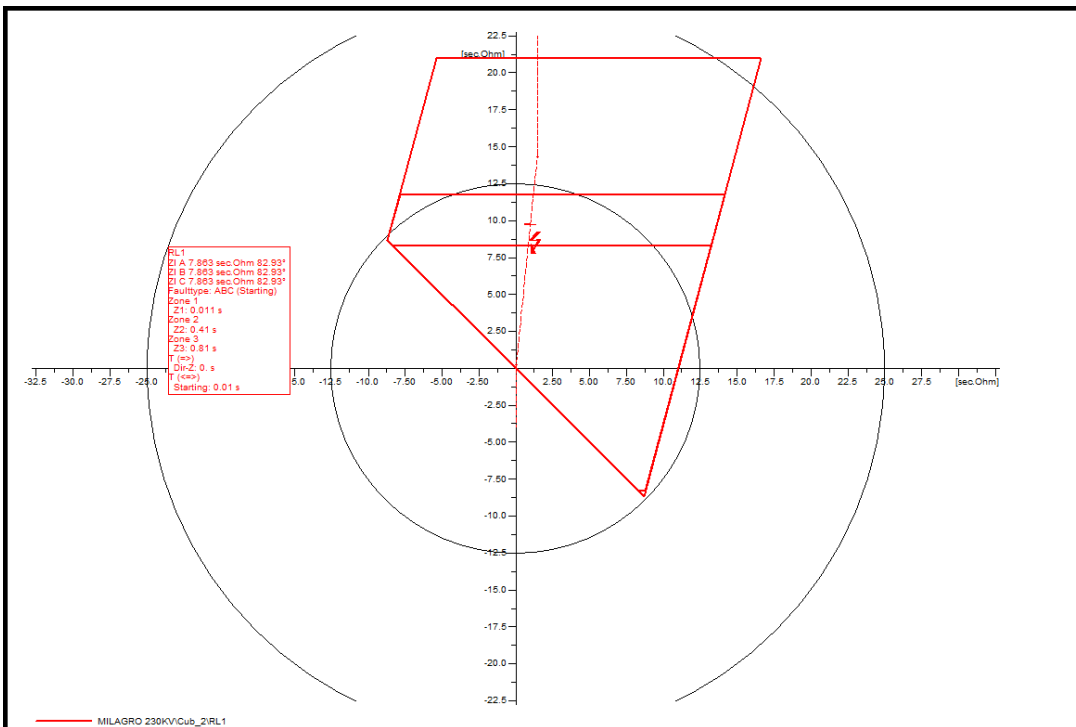


Figura 60 Relé R1 (mira de Milagro a Minas San Francisco)

Fuente: propia

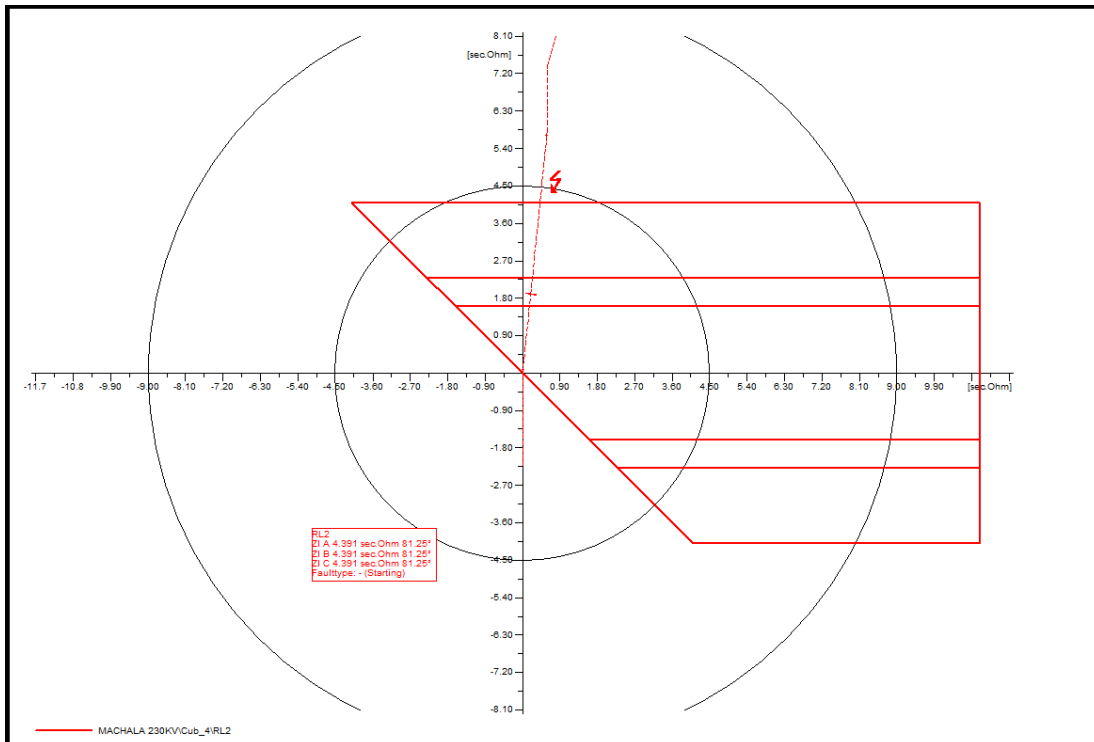


Figura 61 Relé R2 (mira de Machala a Minas San Francisco)
Fuente: propia

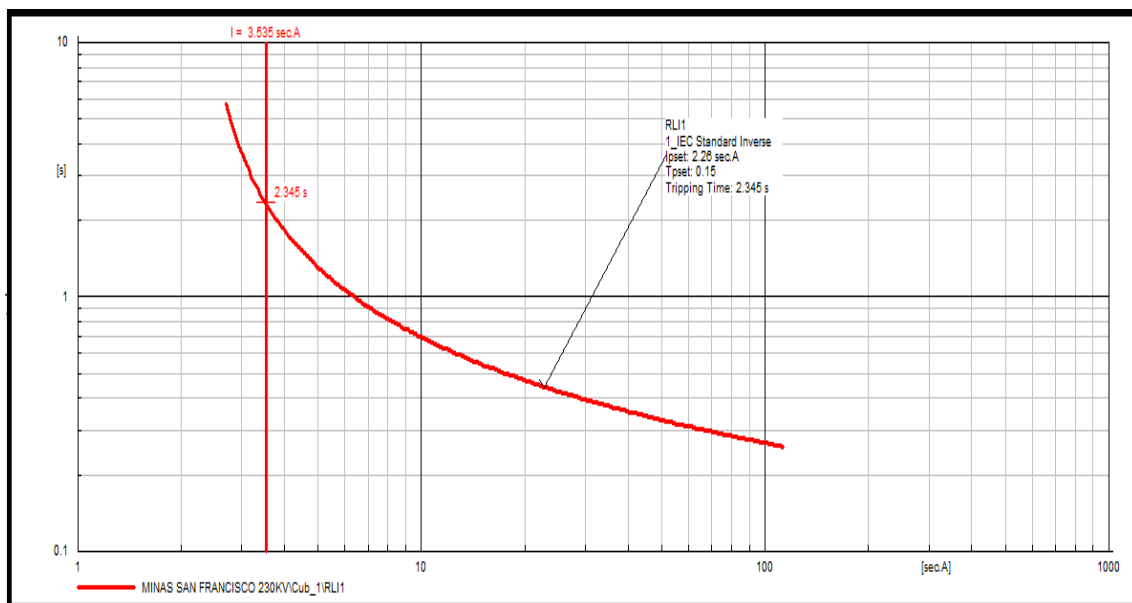


Figura 62 Relé RLI1, RLI2, RLI3 (en la barra de Minas San Francisco, protección de los transformadores).
Fuente: propia

Análisis: Se puede ver que frente a una falla en la línea Milagro-San Francisco, la protección R1 actúa de manera correcta y las protecciones en los transformadores (RLI1, RLI2, RLI3), operan en un tiempo de respaldo grande el cual evita se de disparos erróneos en los transformadores de la subestación San Francisco por fallas en las líneas de transmisión detalladas.

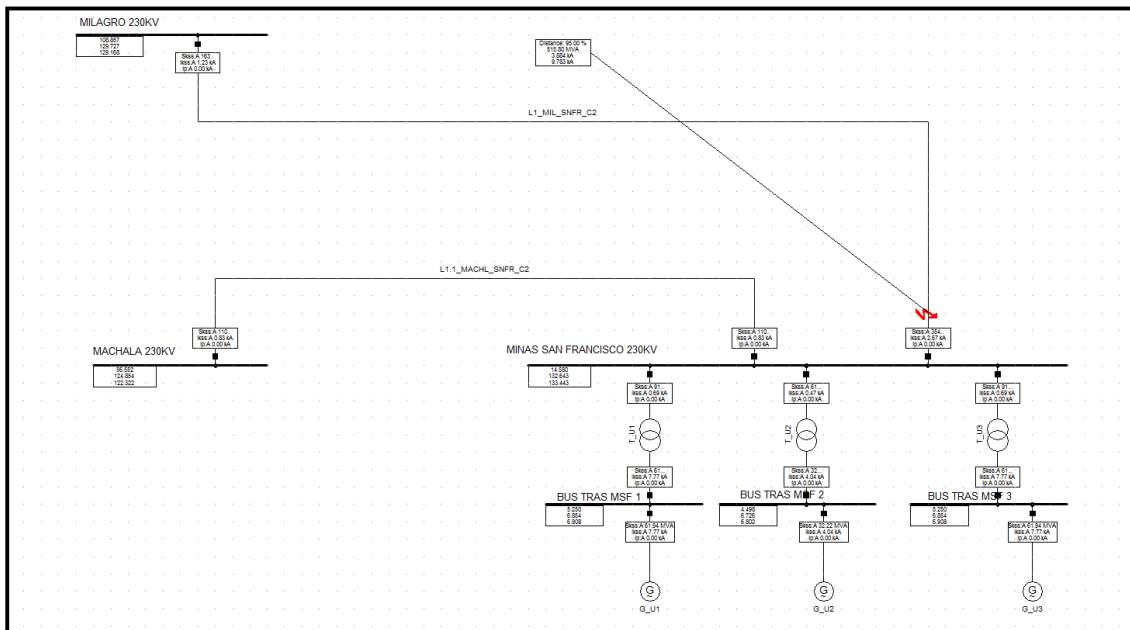


Figura 63 Falla Monofásica al 95% (Zona 2)

Fuente: Propia

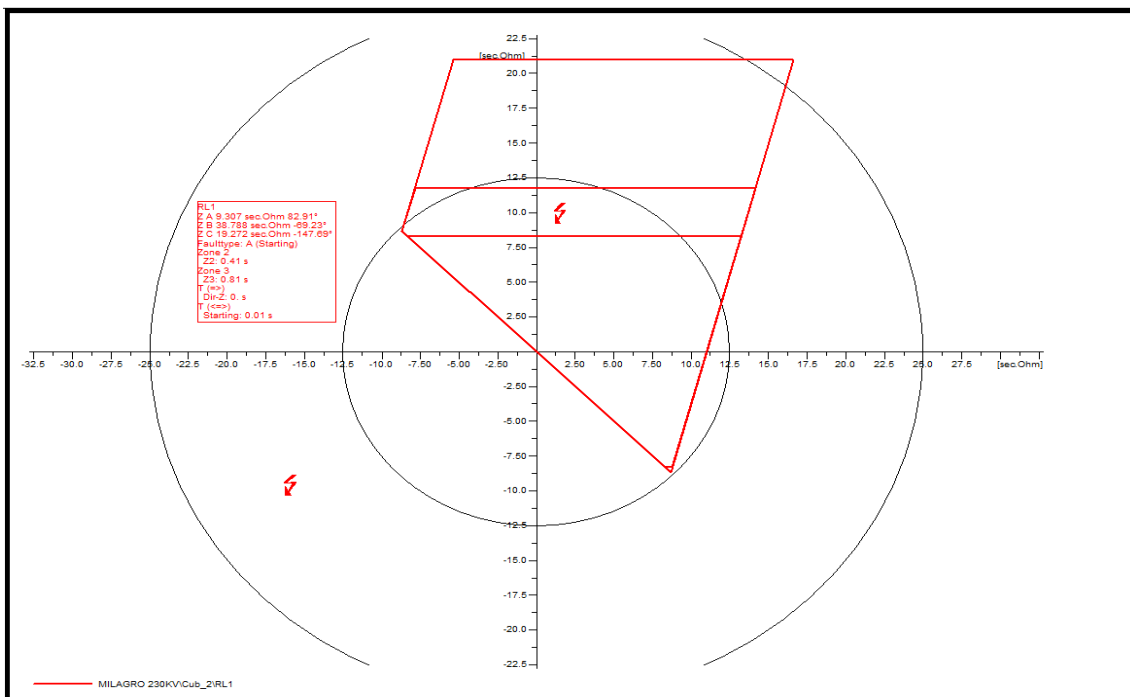


Figura 64 Relé R1 (mira de Milagro a Minas San Francisco)

Fuente: propia

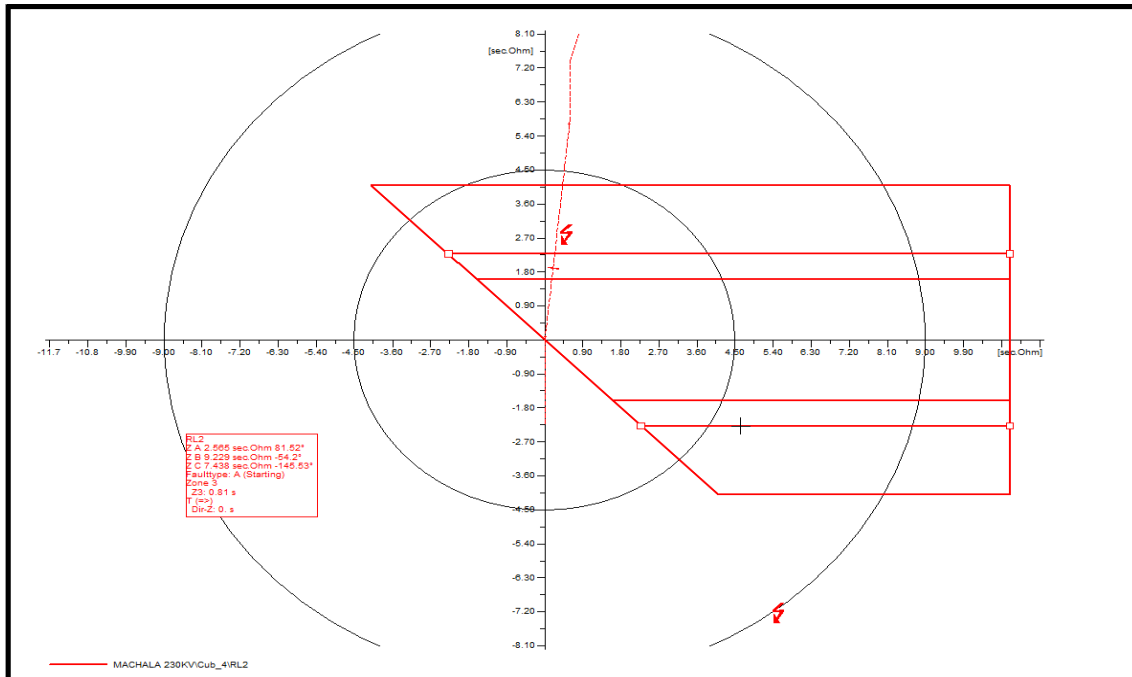


Figura 65 Relé R2 (mira de Machala a Minas San Francisco)
Fuente: propia

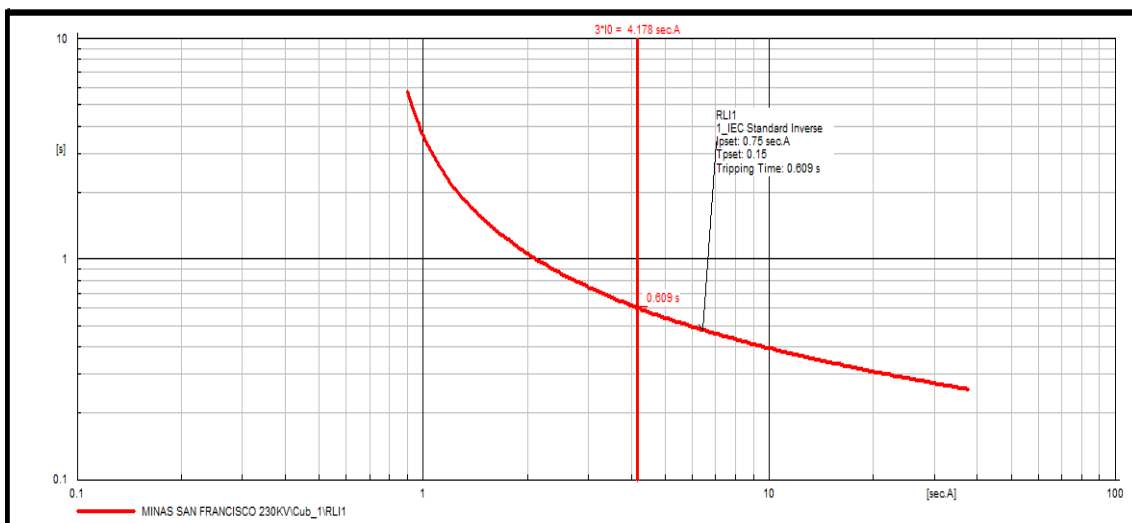


Figura 66 Relé RLI1, RLI2, RLI3 (en la barra de Minas San Francisco, protección de los transformadores).
Fuente: propia

4.4.1.2 Línea Machala-San Francisco (230kV)

Para las simulaciones respectivas se toma como modelo de relé con característica cuadrilateral, de la librería que tiene el DigSilent (el modelo del relé a utilizarse depende del trasmisor).

Para la simulación se analiza en función de los relés que se menciona:

Relé R1 (mira de Milagro a San Francisco)

Relé R2 (mira de Machala a San Francisco)

Relé RLI1, RLI2, RLI3 (en la barra de San Francisco, protección de los transformadores).

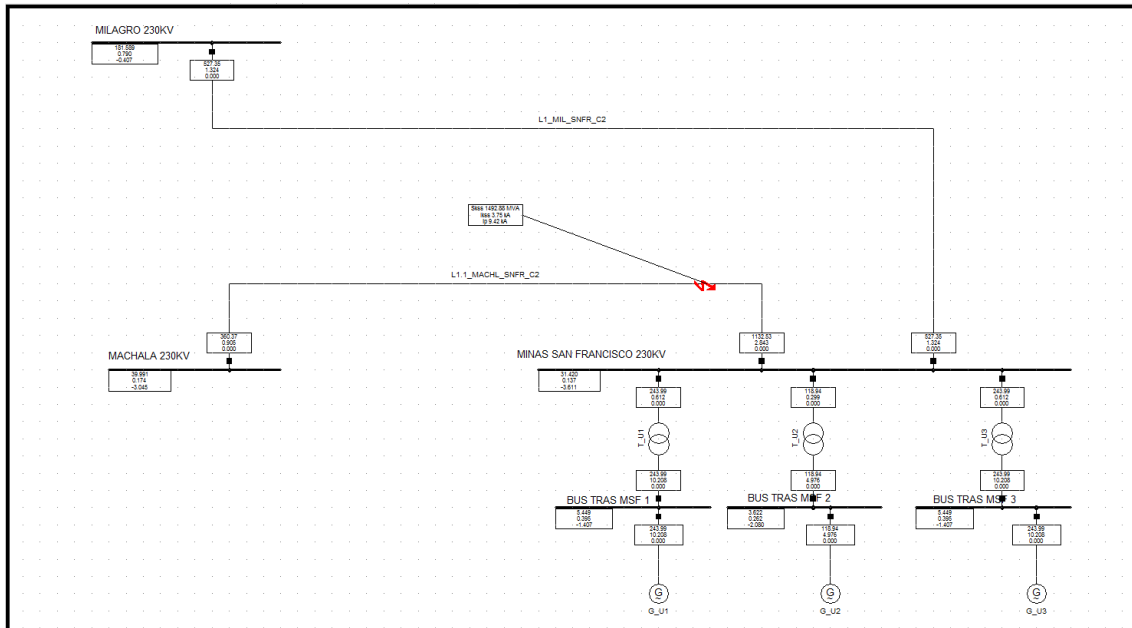


Figura 67 Falla Trifásica al 80% (Zona 1) Línea Machala-San Francisco (230kV)
Fuente: Propia

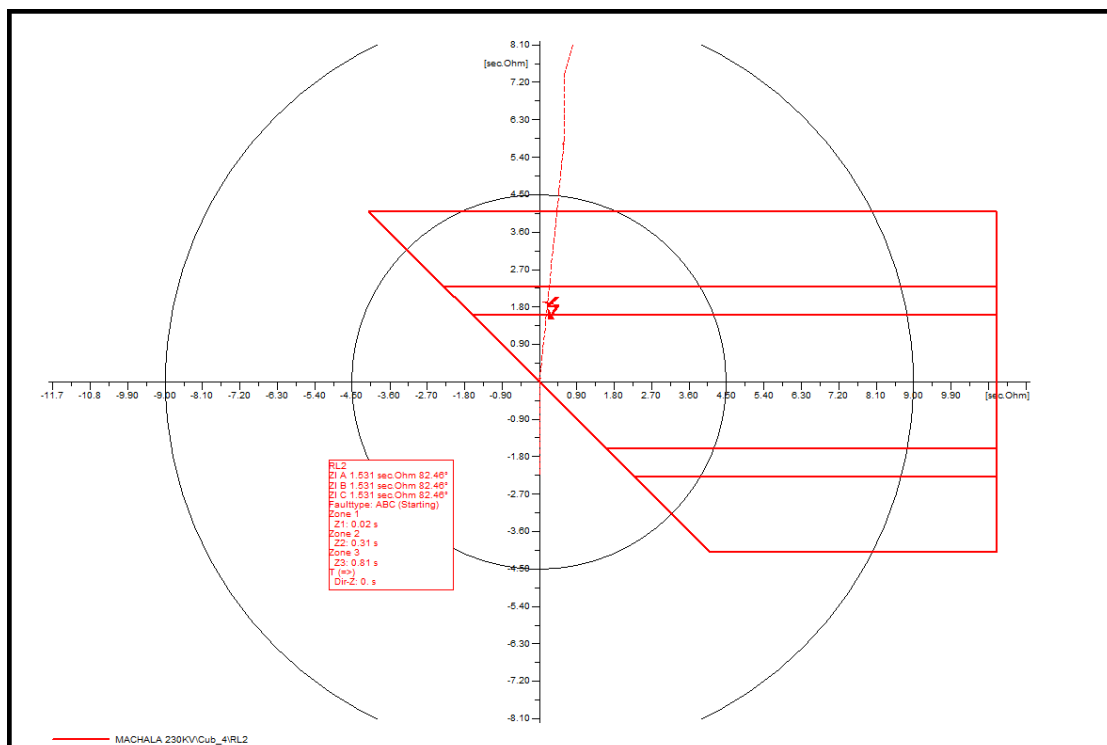


Figura 68 Relé R2 (mira de Machala a Minas San Francisco) Línea Machala-San Francisco (230kV)
Fuente: propia

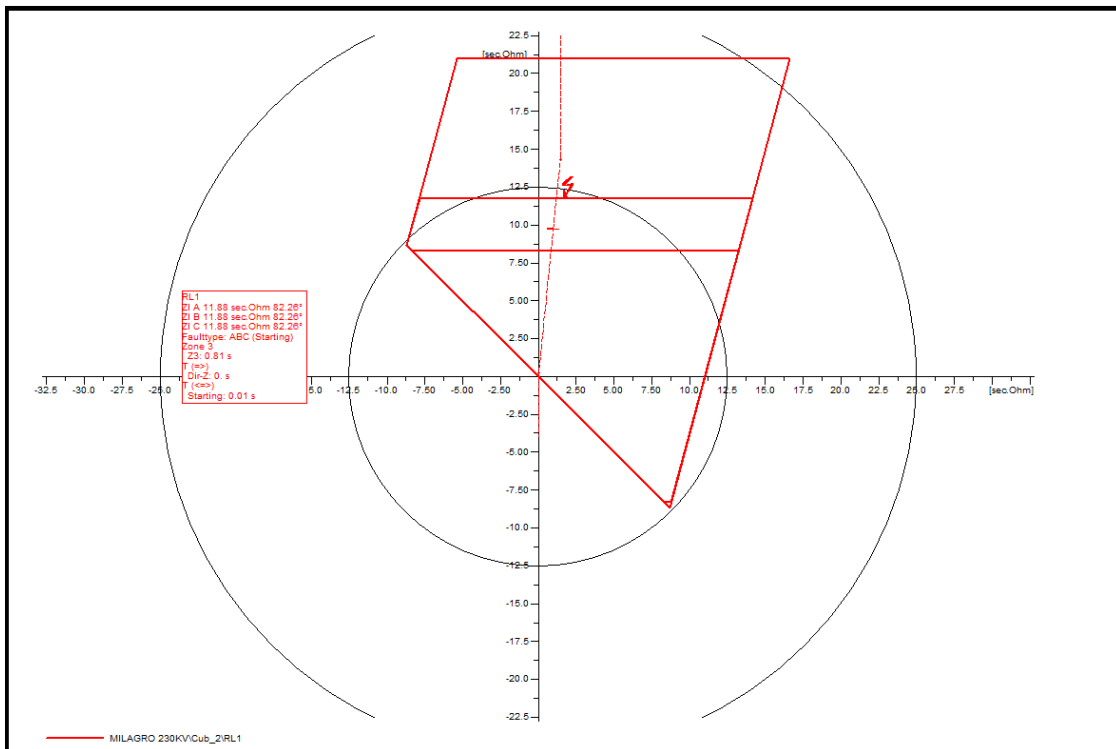


Figura 69 Relé R1 (mira de Milagro a Minas San Francisco) Línea Machala-San Francisco (230kV)

Fuente: propia

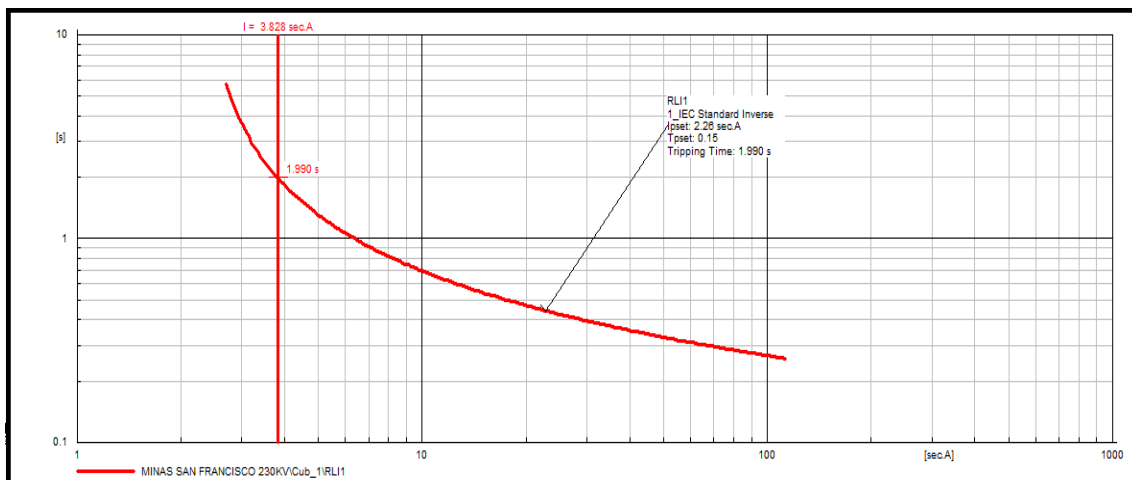


Figura 70 Relé RLI1, RLI2, RLI3 (en la barra de Minas San Francisco, protección de los transformadores), Línea Machala-San Francisco (230kV)

Fuente: propia

Análisis: Se puede ver que frente a una falla en la línea Machala- Minas San Francisco, la protección R2 actúa de manera correcta y las protecciones en los transformadores de la subestación San Francisco (RLI1, RLI2, RLI3), operan en un tiempo de respaldo mayor el cual evita disparos erróneos en los transformadores de la subestación San Francisco por fallas en las líneas de transmisión detalladas.

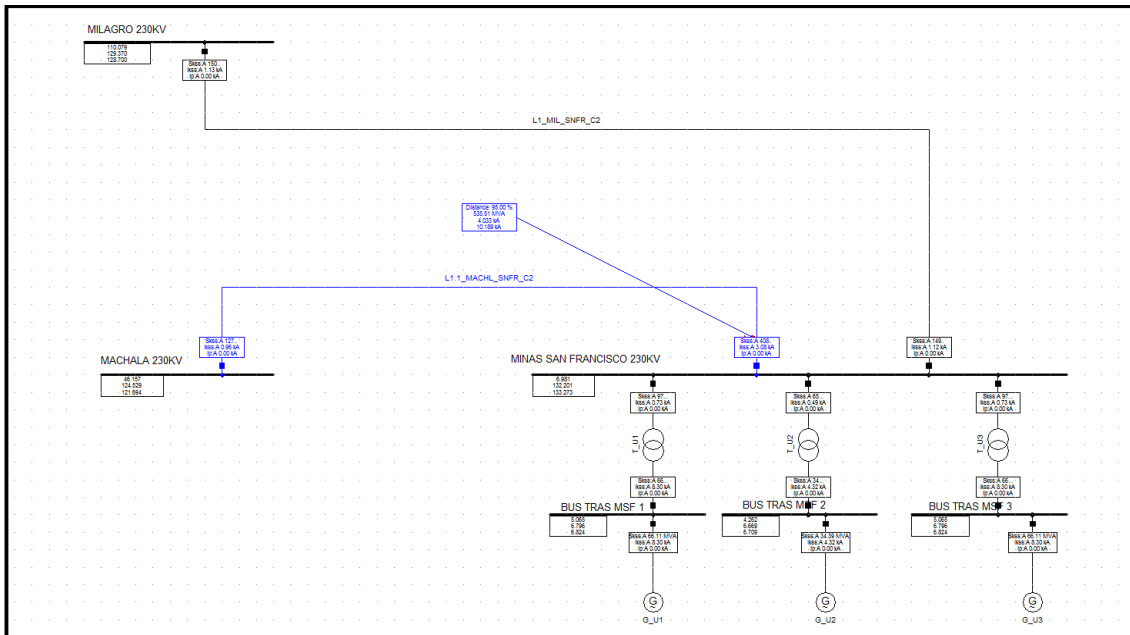


Figura 71 Falla Monofásica al 95% (Zona 2) Línea Machala-San Francisco (230kV)
Fuente: Propia

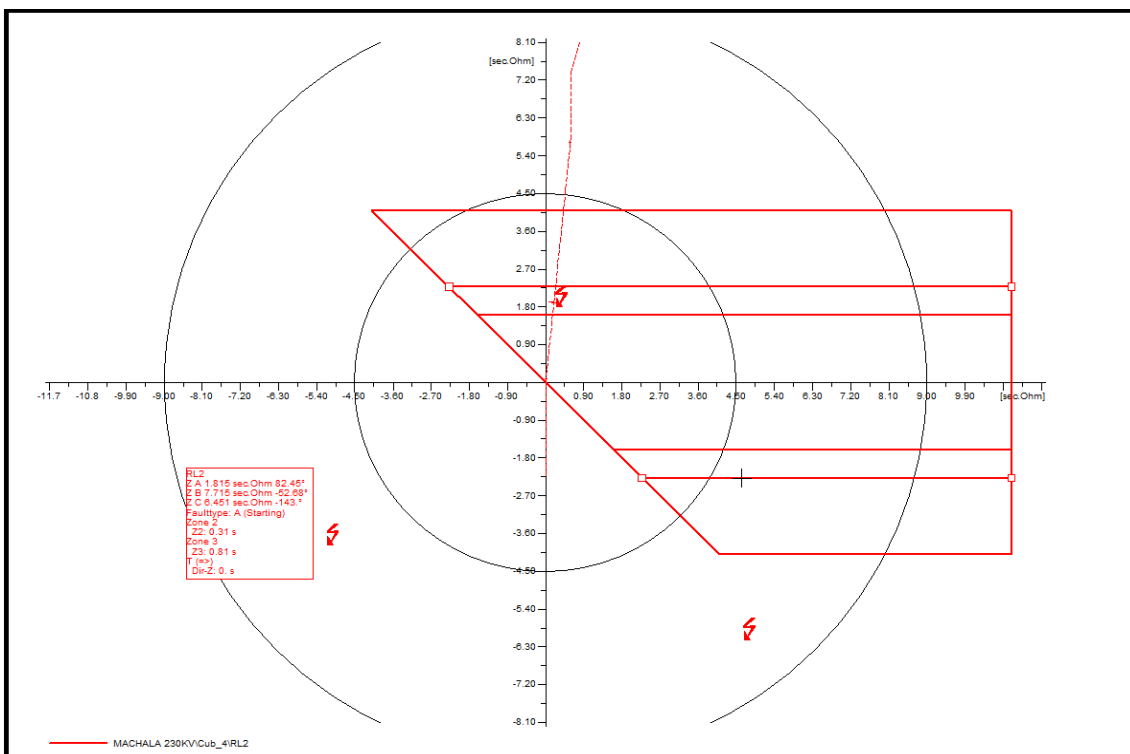


Figura 72 Relé R2 (mira de Machala a Minas San Francisco) Línea Machala-San Francisco (230kV) zona 2
Fuente: propia

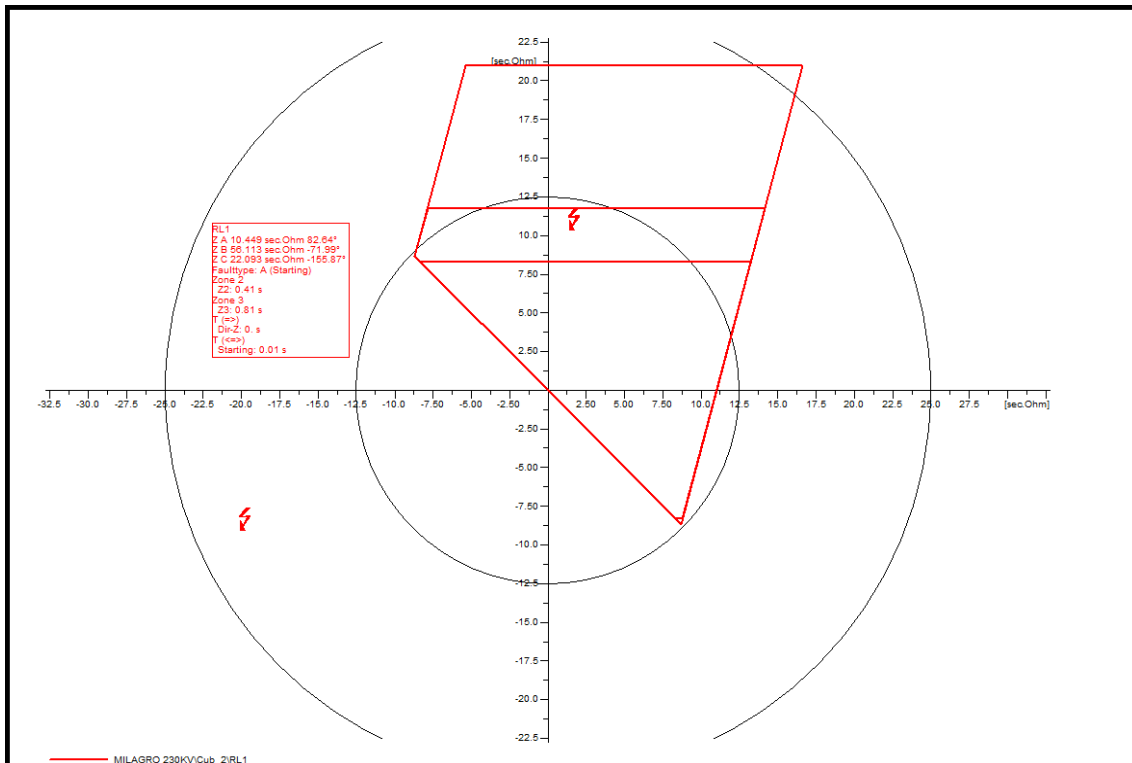


Figura 73 Relé R1 (mira de Milagro a Minas San Francisco) Línea Machala-San Francisco (230kV) zona 2
Fuente: propia

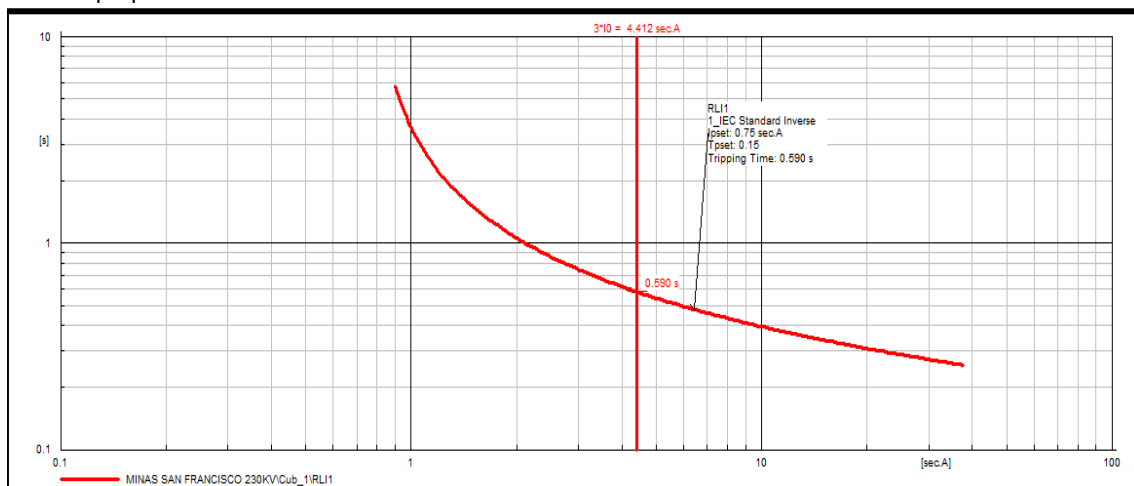


Figura 74 Relés RL11, RL12, RL13 (en la barra de Minas San Francisco, protección de los transformadores), Línea Machala-San Francisco (230kV) zona 2
Fuente: propia

Análisis: Se puede observar que el tiempo de Z2 para el R1 es de 300ms, y R2 de 400ms, debido a que frente a fallas monofásicas en Z2 se traslapaban las zonas de las líneas San Francisco-Machala y San Francisco-Milagro en vista de eso se incrementa a 100ms al ajuste de Z2 en el relé R2, para evitar desconexiones erróneas de la línea San Francisco-Milagro, en lo que respecta a las protecciones de los transformadores de la subestación San Francisco, no hay problema no operan de manera errónea frente a fallas en la línea San Francisco-Machala.

4.4.1.3 Barra San Francisco (13.8 kV)

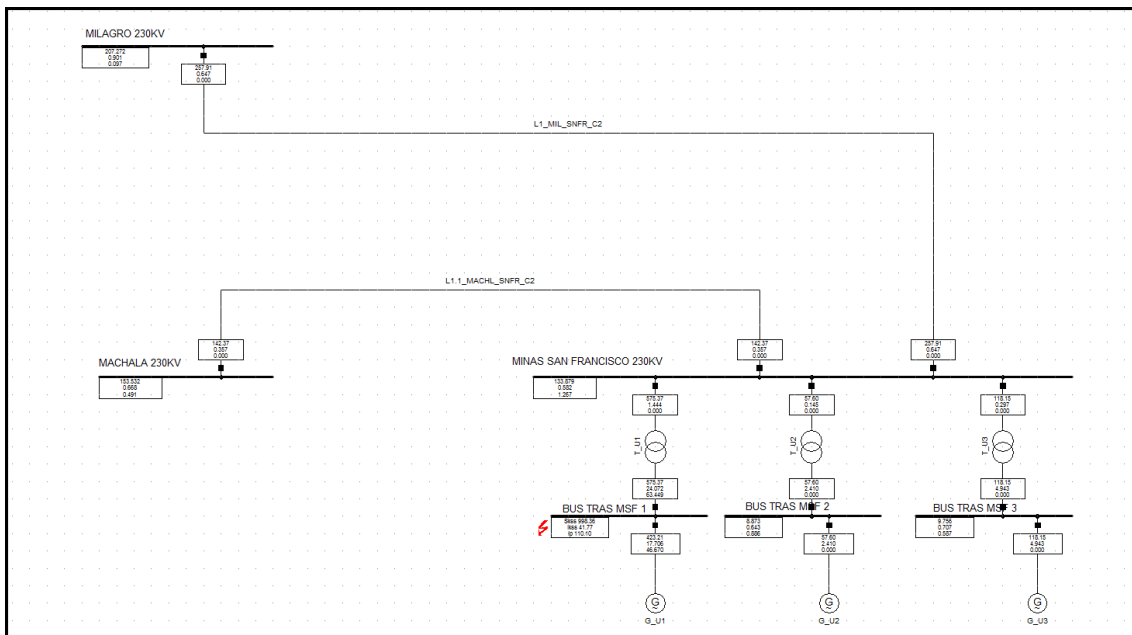


Figura 75 Falla Trifásica en la barra
Fuente: Propia

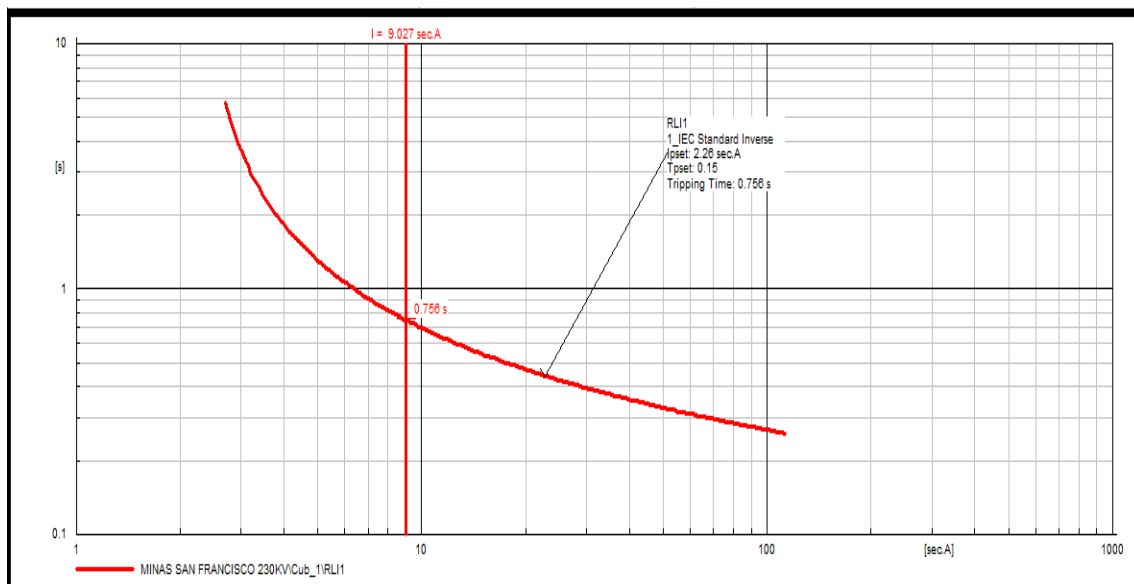


Figura 76 Relé RLI1, RLI2, RLI3 (en la barra de Minas San Francisco, protección de los transformadores), Barra San Francisco (13.8 kV)
Fuente: propia

4.5 Principales objetivos sobre los relés del generador

Definir los ajustes de los relés de protección de los Grupos Generadores (Generador) para conexión de la Central Hidroeléctrica a la MINAS SAN FRANCISCO de 230 kV

Basados en los valores de cortocircuito actuales considerando:

- La contribución del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional – SNI
- La propia contribución de esta Generación de San Francisco
- Los criterios definidos en los manuales técnicos de aplicación de las protecciones de la serie SIFANG CSC-306(Generadores), SIFANG CSC-326(Transformadores y Grupos), SIFANG CSC-103(Línea).

Son definidos todos los ajustes de las “funciones de protección” activas en conformidad a los parámetros y características nominales de los equipos protegidos (Generadores, Transformadores y Líneas Cortas).

4.5.1 Documentos entregados por parte de UNIDAD DE NEGÓCIO CELEC EP ENERJUBONES.

- MIN-L0-PD-GEN-ELE-P-P-0506-F 230kV20140819 Diagrama Unifilar de Protección Medición
- TOPOLOGIA DE ANALISIS DE COORDINACION DE PROTECCIONES ELECTRICAS MINAS SFR_JUNIO 2017.
- MIN-L0-PD-GEN-ELE-P-P-0505-D
- PHM-MT3ALS-CMGN-9001 - PUESTA A TIERRA NEUTRO DEL GENERADOR

4.5.2 Resumen descriptivo del sistema en la central.

La Central Hidroeléctrica Minas San Francisco esta constituida por 3 Grupos Generadores de 100 MVA - 13,8 kV- 60 Hz y sus respectivos Transformador Elevador trifásico conectados través de Interruptores en 230kV a las Barras de la S/E de Minas San Francisco tipo barra doble equipada con transformadores de corriente y de potencial.

Cada Generador alimenta a través de barras de fases aisladas el transformador elevador (delta-estrella a tierra) con conexión estrella en 230 kV.

Los Generadores son conectados a tierra, a través de alta impedancia formada por un conjunto de transformador y resistencia, de modo para limitar el valor de cortocircuito monofásico en los terminales del generador a un valor abajo de 16 A.

En la Central Minas San Francisco, los relés de protección están distribuidos entre los tableros denominados UP-Ux [protección de generador], UP-TUx [protección de transformador] y UP-LCx [protección de línea corta].

Los diagramas unifilares de las protecciones están en los documentos:

MIN-L0-PD-GEN-ELE-P-P-0505-D

MIN-L0-PD-GEN-ELE-P-P-0506-F 230kV/20140819

4.5.3 SISTEMAS DE PROTECCIÓN SIFANG

Cada sistema de protección previsto en el proyecto consiste en relés micro procesados (numéricos) de última generación de la serie SIFANG, con memoria para grabar eventos (SOE) y oscilografía y en conformidad con las prescripciones de la norma IEC 61850. A seguir presentan se las respectivas denominaciones de los relés de protección que componen el sistema de protección, idénticos para cada Grupo (Generador + Transformador) y Línea Corta y el listado de funciones activadas:

- CSC-306 Relé de Protección de Generador.
- CSC326 Relé de Protección de Transformador.
- CSC-103 Relé de Protección de Línea Corta.

4.5.3.1 Relé de Protección de Generador – CSCC-306

- Diferencial de corriente del generador (87G).
- Falla de aislamiento del estator (64E-95% y 64E-100%).
- Bajo y sobre voltaje (27/59).
- Frecuencia mínima y máxima (81G), rango de cambio de frecuencia (df/dt).
- Potencia inversa (32).
- Sobreflujo Volts/Hertz (24), voltaje desbalanceado (60V).
- Pérdida de excitación (40).
- Sobre corriente de secuencia negativa (46).
- Energización inadvertida (50EI).
- Dos zonas de impedancia (21-1 y 21-2).
- Pérdida de sincronismo (78).
- Falla del Interruptor (Función 50BF).

4.5.3.2 Relé de Protección de Transformador – CSC-326.

- Protección diferencial del transformador (87T).
- Protección de restricción de fallas a tierra (87N).
- Protección de sobrecorriente (50, 51, 67).
- Protección de fallas a tierra (50N, 51N, 67N).
- Protección del neutro del transformador (50G, 51G, 67G).
- Protección térmica (49).
- Protección sobrecarga (50OL).
- Protección de sobre excitación (24).
- Protección sobrevoltaje (59).
- Protección falla breaker (50BF).
- Protección discordancia de polos (50PD).
- Protección zona muerta (50SH - Z).
- Fallas fusibles (97FF).

4.5.3.3 Relé de Protección de Línea Corta – CSC-103

- Protección diferencial de línea (87L).
- Protección de distancia (21,21N).
- Oscilación (68).
- Esquema de teleprotección (85-21,21N) ,(85-67N).
- Protección de sobrecorriente fases (50, 51, 67).
- Protección de fallas a tierra (50N, 51N, 67N).
- Cierre con falla (50HS)
- Protección de sobrecarga (50OL)
- Protección de sobrevoltaje (59)
- Protección de bajo voltaje (27)
- Protección de falla breaker (50BF)

- Protección discordancia de polos (50PD)
- Protección zona muerta (50SH - Z)
- Protección interruptor y medio (50STUB)
- Sincronismo (25)
- Recierre (79)
- Falla fusible (97FF)

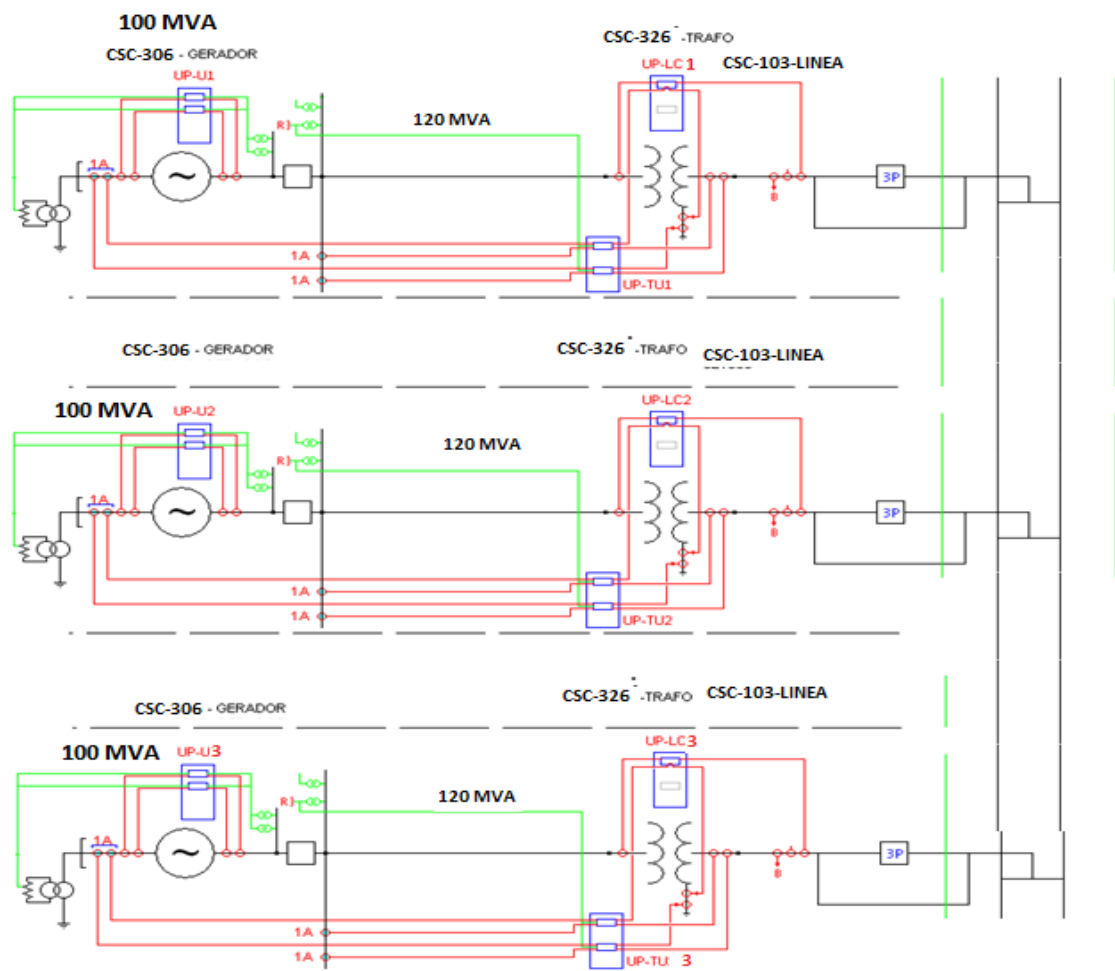


Figura 77 Croquis Simplificado del Sistema de Protección aplicado en la Central de San Francisco.

Fuente: Propia

4.5.4 Datos técnicos de los equipos.

Características técnicas de los equipos informadas por el fabricante o recomendadas por las Normas ANSI C5010/12 e IEC 60034, son indicadas en siguiente:

Generadores GEN 01, GEN 02, GEN 03, con grupo de conexión estrella puesto a tierra por alta impedancia

Potencia nominal: 100MVA

Tensión nominal: 13800+5/-5% Vca

Corriente nominal: 4190 A

Frecuencia nominal: 60Hz

Factor de potencia: 0,9

Transformadores de Puesta a Tierra para los Generadores GEN 01, GEN 02 y GEN 03

4.5.5 *Calculo de valores de cortocircuito.*

Para evaluar la operación de las funciones de protección instaladas en la Casa de Maquinas, son necesarios los valores de cortocircuito en las barras de medio y alto Voltaje (13,8 y 230kV) de San Francisco, en las zonas internas y externas de las protecciones diferenciales de línea corta 230kV, en las zonas internas y externas de las protecciones diferenciales de las Unidades Generadoras (GE+TRE) en 13,8 kV. Estos valores de cortocircuito deben especificar en cada punto, la contribución de cada unidad Generadora y del Sistema. Los casos críticos son los cortos-circuitos en la SE y en el Servicio Auxiliar que deben soportar la corriente circulante sin operación indebida manteniendo el grupo en operación hasta la operación de los interruptores más cercanos asociados a las protecciones adyacentes responsables por la extinción de la falla.

4.5.6 *Protección de los generadores.*

Los tableros contienen las protecciones de la serie SIFANG CSC-306, utilizados para las protecciones de los Generadores. Dada la simetría del circuito principal de las Unidades Generadoras estos relés serán configurados y ajustados con valores idénticos y cuyos criterios y modelos matemáticos para cálculos de ajustes están definidos.

4.5.6.1 *Protección de Potencia Reversa y Sobre Potencia (32)*

Los elementos de protección de potencia del relé SIFANG CSC-306 calculan la potencia activa trifásica según la suma de la parte activa de cada fase, utilizando la

intensidad medida en las entradas IA, IB, IC y VA, VB, VC del relé. La protección de potencia reversa previene daños causados por torque reverso (motorización) durante la operación del Generador en velocidad sincrónica. Dependiendo de las características propias del conjunto (Turbina/Generador) es normal considerar un valor típico de potencia reversa hasta la orden de 5%. (Ajustado 3%)

GROUP 1 POWER

Modo de operación: Generador

Función: Potencia Reversa

Ajuste: 2.7 MW, 3% de la potencia nominal = 90 MW (Valores primarios).

Power1 TimeDelay = 5 s.

4.5.6.2 Protección de Falla del Campo (F 40).

La impedancia medida en los bornes de la maquina durante la perdida de excitación del generador, emigra (camina) para dentro de la característica de ajuste de impedancia del relé, localizado en el 4º cuadrante de los ejes (R - X). La pérdida completa de excitación puede surgir por el disparo del interruptor de campo del sistema de excitación accidental, por sobrecarga, por cortocircuito, o por la falla de la fuente de alimentación de excitación. Los elementos funcionan con las señales de intensidad y de tensión de la fase A medidas por las entradas “Ia” y “Va” en el relé. La intensidad y la tensión mínima de fase requeridas para que funcione la protección de fallo de campo del CSC-306 es 100 mA y 4 V (secundarios). La protección de falla del campo está formada por elementos temporizados; dos elementos de impedancia temporizados y un elemento de alarma temporizado de factor de potencia.

La protección de falla de campo debe actuar de forma que presente el mínimo riesgo operacional durante inestabilidad ocasionada en el sistema por oscilación de potencia (power swing), disturbios y sincronización; disponiendo de temporizaciones de operación (TD) y de reajuste (DO Timer).

Criterios para ajuste de la función de Falla del Campo:

Elemento de impedancia 1:

Cuando se utiliza un equipo de regulación de tensión de alta velocidad, puede ser posible que los generadores funcionen con un ángulo de rotor de hasta **120°**. En este

caso, el diámetro de la característica de impedancia, "**FCamp1 Xb1**", debe ajustarse al **50%** de la reactancia sincrónica longitudinal (**0.5Xd**) y la desplazada "offset",

"**FCamp1 -Xa1**", debe fijarse en el **75%** de la reactancia transitoria longitudinal (**0.75Xd'**).

"FCamp1" 0.227 pu , **Xb1 = 0.5Xd**

"FCamp1" 0.448 pu, **Xa1 = 0.75 Xd'**

Elemento de impedancia 2:

El segundo elemento de impedancia se puede ajustar para dar funcionamiento rápido, cuando el campo falla en condiciones de carga elevada. El diámetro de la característica, "**FCamp2 Xb2**", se debe fijar en 1 p.u. La característica desplazada "offset", "**FCamp2 -Xa2**" se debe fijar igual a la mitad de la reactancia transitoria longitudinal (**0.5Xd'**).

El ajuste angular, "FCamp Alm Ang", se debe fijar en un valor mayor al de cualquier ángulo en que la máquina pueda funcionar en operación normal. El ajuste típico es $A^\circ > 15^\circ$ y $< 30^\circ$, con base en factor de potencia adelantado. La temporización del elemento de factor de potencia, "FCamp Alm Tempo", debe fijarse más larga que el ajuste de la temporización del elemento de impedancia ("FCamp1 Tempo"). Esto es para evitar el funcionamiento del elemento de alarma en condiciones transitorias, tales como oscilación de potencia, y para proveer la discriminación, en el caso de que pueda no ser detectada una condición de falla de campo por los elementos convencionales de impedancia de falla de campo Característica Externa usual temporizada (0,5 a 10 s) e Característica Interna usual (instantánea).

4.5.6.3 Protección Térmica de Secuencia Negativa (46)

La carga desequilibrada produce la circulación de componentes de intensidad de secuencia directa e inversa. El desequilibrio de la carga puede surgir como resultado de una carga monofásica, cargas no lineales (involucrando electrónica de potencia y hornos de arco, etc.), faltas asimétricas no despejadas o repetitivas, funcionamiento de fusibles, disparos y reenganches monofásicos en redes de transmisión, conductores rotos de líneas aéreas y fallas asimétricas de dispositivos de conmutación. Cualquier componente de secuencia de fase inversa de intensidad del estator producirá una componente de rotación inversa de flujo del estator, que pasará por el rotor al doble de la velocidad sincrónica. Tal componente de flujo inducirá corrientes parásitas de doble frecuencia en el rotor, las que pueden causar el sobrecalentamiento del cuerpo del rotor, de sus devanados principales, amortiguadores, etc. Cuando una máquina tiene un alto

nivel de resistencia a la intensidad de secuencia de fase inversa continua (I_2 Amp), como en el caso de máquinas típicas de polo saliente, es importante activar la función de protección SFI ('NPS'). La función de protección SFI ('NPS') puede, sin embargo, ofrecer un método mejor de respuesta ante una falta asimétrica no despejada y distante de la barra del generador y sería difícil ajustar la función de protección de distancia o de sobrecorriente controlada por la tensión para detectar una falla distante y coordinar con la protección de respaldo del alimentador ante una falta trifásica cercana. La protección de secuencia negativa (NPS) que proporciona el SIFANG 303 es una réplica térmica precisa con una etapa de alarma de tiempo definido.

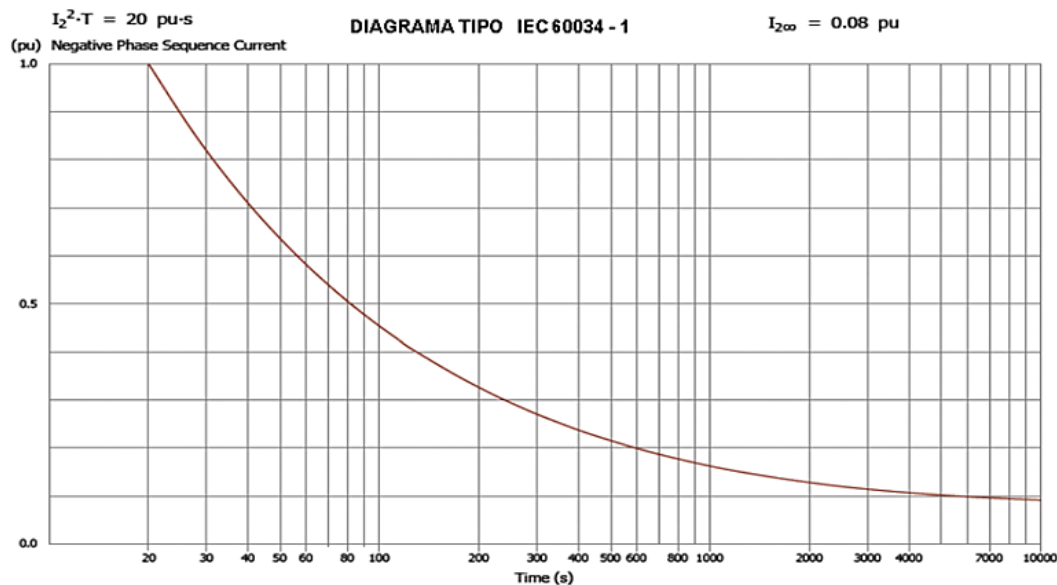


Figura 78 Diagrama basados de la IEC 6034-1
Fuente: Propia

Para el criterio del cálculo de secuencia negativa de los Generadores se aplica con la Norma IEC 60034-1. Resumimos los valores significativos para el cálculo a seguir:

Tabla 7 Cálculo de secuencia negativa de los Generadores se aplica con la Norma IEC 60034-1.

Tipo de generador	$\frac{I_2}{I_{nG}} \max$	$\left(\frac{I_2}{I_{nG}}\right)^2 t = \text{Constante del generador}$
Polos saliente refrigeración indirecta	$I_2 \text{CMR} = 8\% = 0.08 I_{nG}$	K=20

Fuente: Norma IEC 60034-1.

4.5.6.4 Protección de Respaldo del Sistema (21).

Un generador es una fuente de energía eléctrica que alimenta fallas en la red hasta que las mismas sean despejadas por la protección de la red. Se debe aplicar la protección de respaldo al generador para que las fallas sean despejadas en la eventualidad de que no funcionen los interruptores/las protecciones aguas abajo conforme la “selectividad” del sistema de protección. La protección de mínima impedancia (21) es una alternativa a la protección de sobrecorriente dependiente del voltaje (51V). Suele ser más solicitada debido a la facilidad de su ajuste y configuración, sin embargo, puede ser difícil proporcionar la coordinación adecuada con las protecciones de sobrecorriente de tiempo inverso del sistema en la región próxima de la Central, por otro lado, es más indicada a operar con Generadores auto-alimentados. La intensidad de falla suministrada por un generador varía durante una condición de falla como lo indican las curvas típicas de decrecimiento del generador, que se muestra en la Figura abajo. La respuesta de la intensidad de falla está determinada por la acción del regulador automático de tensión de la máquina. En algunos generadores, la intensidad de falla inicia un circuito de ‘amplificación (boost)’ existente en el AVR (Regulador Automático de Tensión) que mantiene la intensidad de falla en un nivel relativamente alto.

4.5.6.5 Protección Falla a Tierra en el Estator 95% (Residual O/V - 59N)

La protección protege el Generador contra fallas a tierra en el estator detectando el sobre voltaje residual que se obtiene de los TP's de la barra TP2 (S2) en 13,8 kV a través de cálculo del voltaje de secuencia cero (3V0). Fallas hasta 95% del enrollamiento del estator pueden ser detectadas por medición del sobre voltaje de secuencia cero (3Vo), incorporando un filtro de tercera armónica, que elimina esta componente que existe normalmente en condiciones de operación del Generador. En las instalaciones donde el Generador está conectado al sistema a través de un transformador elevador (D/Y) no es necesaria la coordinación de esta protección, con las protecciones de alto voltaje. La protección dispone de 3 ajustes de sobre voltaje de secuencia cero con opciones de tiempo definido (DT) o dependiente (IDMT) para alarma y desenganche a criterio del usuario.

Cr�terios de Ajustes (59N):			
VN >1 function	DT	(alarma)	
VN >1 Voltage Set	3%		
VN >1 time delay	5,00seg		
VN >2 function	DT	(desenganche)	
VN >2 Voltage Set	6%	(94% do enrollamiento)	
VN >1 time delay	0,50seg	(evita inestabilidades)	
Desplazamiento TOTAL a 60Hz del Neutro (suma vectorial de fases-TIERRA) 3V0=			7967[V]

VN>1 Voltage Set =	1,99[V]
VN>1 Time Delay =	5seg
VN>2 Voltage Set =	3,98[V]
VN>2 Time Delay =	0,1seg

Figura 79 Características a tiempo definido con 1 nivel de detección de alarma y 1 nivel de desenganche.

Fuente: Propia

4.5.6.6 Protección de Sobreexcitación - V/Hz (24)

Los Generadores o Grupos (Generador y Transformador) están sujetos a sufrir aumentos del  ndice (Volt/Hz), que representa la relación del voltaje a la frecuencia fundamental, provocando aumentos de la inducción magnética y sobre temperatura en el núcleo, por el consecuente aumento de las perdidas. Es más frecuente que se produzca una sobreexcitación durante la partida del Generador cuando él no está conectado al sistema. Fallas en el control automático del sistema de excitación, o errores en el control manual del circuito de campo del Generador, pueden permitir la generación de voltajes excesivos. También si el sistema de excitación del generador no responde correctamente cuando se encuentra operando en Isla, una pérdida repentina de carga, puede provocar una condición de sobre voltaje. La limitación de los equipos es fundamental para la adecuada definición del ajuste de la protección, sin embargo, destacamos algunas referencias establecidas en las Normas ANSI/IEEE: Soportabilidad continua: Generadores 1,05 pu Transformadores 1,05 pu en carga normal y 1,1 pu en vacío.

Los relés disponen de un elemento de sobreexcitación de 4 niveles de actuación, siendo 3 de tiempo definido (TD) y uno de TD o tiempo dependiente (IDMT). La protección calcula la relación del voltaje (VA-B) a la frecuencia (V/Hz) y operará si esta relación sobrepasa el ajuste en cualquier uno de los niveles. Criterios para el ajuste de la protección de sobreexcitación (24):

- Un nivel de alarma ajustado < 1,05 pu (1,0345) y tiempo entre 10 y 20 s.

- Un nivel de desenganche ajustado $> 1,05$ pu, también de tiempo definido (TD) correspondiente a 100% del tiempo de soportabilidad del transformador para 1,15 pu.
- Un nivel de desenganche ajustado a 1,1 pu de característica IDMT.

V/Hz Alm Status Enabled

V/Hz Alarm Set 2.120 V/Hz

V/Hz Alarm Delay 20.00 s

V/Hz >1 Status Enabled

V/Hz >1 Trip Func IDMT

V/Hz >1 Trip Set 2.260 V/Hz

V/Hz >1 Trip TMS 800.0e-3

V/Hz >2 Status Enabled

V/Hz >2 Trip Set 2.150 V/Hz

V/Hz >2 Delay 240.0 s

4.5.6.7 Deslizamiento de pólos (*Pole Slipping* -78)

El deslizamiento de pólos una máquina síncrona puede ocurrir por diversas razones, siendo la principal las fallas no eliminadas en el sistema, manteniendo el Generador conectado. Este deslizamiento representa grandes y rápidas oscilaciones de potencia, exigiendo que el Generador sea desconectado rápidamente del sistema. Las oscilaciones de potencia (P/Q), representan una variación cíclica de la impedancia a la frecuencia de la oscilación vista por la protección, en sus terminales (V/I). Otras funciones de protección incorporadas al relé efectúan esta función de protección “Pole Slipping” indirectamente, pero con limitaciones, es decir, refiriendo a las funciones Direccional de Potencia (F32) y Perdida de Excitación (F40). La protección dispone de una función específica para “Pole Slipping”. Una característica lenticular de 4 regiones y 2 zonas permite a través de ajustes adecuados, definir si está sucediendo oscilaciones de potencia en el sistema interconectado o si se trata de una condición de “Pole Slipping” en el Generador

La impedancia vista por la protección en los terminales del Generador, en una condición de oscilación de potencia, varía cíclicamente con la frecuencia de la oscilación a partir de la impedancia de servicio en el plano R/X. El trayecto de esta impedancia

depende de la relación de los voltajes de las fuentes ES/EG y de la característica de la tendencia de la oscilación a la estabilidad o a la inestabilidad. La protección detecta el trayecto de la impedancia dinámica presentada en sus terminales, con base en los siguientes criterios de exclusión:

- Si el trayecto sucede abajo de la línea $P - P'$ se trata de una situación de "Pole Slipping". Contrariamente se ocurre encima de la línea $P - P'$, se trata de una oscilación de potencia en el sistema.
- Si la impedancia dinámica sigue un trayecto en sentido $P' - P$ (regiones), se trata de un "Pole Slipping" (deslizamiento de polo) con tendencia a la inestabilidad, que, a través de discriminación del tiempo del trayecto en las regiones, provoca el desenganche del Generador.
- Si la impedancia dinámica sigue un trayecto incompleto en sentido $P' - 0 - P'$, se trata de "Power Swing" (Oscilación de Potencia) con tendencia a la estabilidad, limitando se así el desenganché.

Criterios de Ajustes (78)

"Pslip ZA Forward" - Alcance ZA

$ZA = XT + Zs \Rightarrow XT$: Impedancia del Transformador y Zs : Impedancia del sistema
"Pole Slip ZB – Rverse" - Alcance ZB

Debido a que la mayoría de los deslizamientos ocurren, probablemente, a una marcha asincrónica lenta, tal vez 1%, es suficiente tomar el valor $XG=2X'd$ al determinar el deslizamiento del polo

$ZB = 2 X'd \Rightarrow X'd$: Reactancia transitoria del Generador

Angulo de la Lente

$90^\circ < d^\circ < 150^\circ$ atendiendo a la siguiente ecuación:

$d^\circ \text{ min} = 180^\circ - 2 \times \text{atan}(1.54 \times RC_{\text{mín}} / (ZA + ZB))$

$ZR = (ZA + ZB) / (2 * \text{tg}(90^\circ - d^\circ/2))$

$RC_{\text{mín}} = 1,3 * ZR$

RC será calculado con los parámetros del Generador y del Sistema, considerando $90^\circ \text{min} < d^\circ < 150^\circ \text{max}$

PSlip T1 e Pslip T2 (Tiempo de discriminación del pole Slipping)

$T1 = T2 = 0,015 \text{ s}$ (Recomendación manual Alstom) pues que permite detección en el centro geométrico de la lente, con ajuste de $d^\circ=120^\circ$ y un “Pole Slipping” de frecuencia de 10Hz.

Inclinación de la lente - Angulo del Blinder (Θ°)

La inclinación de la lente se debe mantener en consistencia con el ángulo de impedancia de la red, vector (Z_A+Z_B) $\Theta^\circ = \arctg ((X_G+X_T+X_S) / R_S)$

Polo Slip Z_C - Alcance Z_C $Z_C > 0,9 \times X_T$

Permite verificar si el “swing” de la impedancia está ocurriendo en el Sistema o en el Generador.

Si $Z < Z_C$ – situación Polo Slipping

Si $Z > Z_C$ – situación Power Swing

Zone Slip Count - Contador de Ciclos de “Pole Slipping”

Se recomienda ajustar la zona 1 en 1 ciclo y la zona 2 en 2 ciclos de “Pole Slipping” antes del desenganche.

Esto permite evitar daños en el Generador y un cierto grado de estabilidad para oscilaciones de potencia en el sistema.

PSlip Reset Time - Tiempo de Reposición (TR)

Valor típico de

$TR = 30\text{s}$. $TR > T_{\text{máx}}$ previsto de la impedancia para cruzar la lente de la región $P' - P$.

Z_R = aproximadamente Mitad de la Impedancia del ancho de la lente

dZ/dt = Variación de la impedancia con frecuencia del “swing” de 10Hz.

CAPÍTULO 5.

5. CALIBRACIÓN Y COORDINACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIONES DEL GENERADOR- TRANSFORMADOR Y LÍNEA DE EVACUACIÓN DE LA UNIDAD #3 DE LA HIDROELÉCTRICA MINAS SAN FRANCISCO.

5.1 Esquema del sistema de protección.

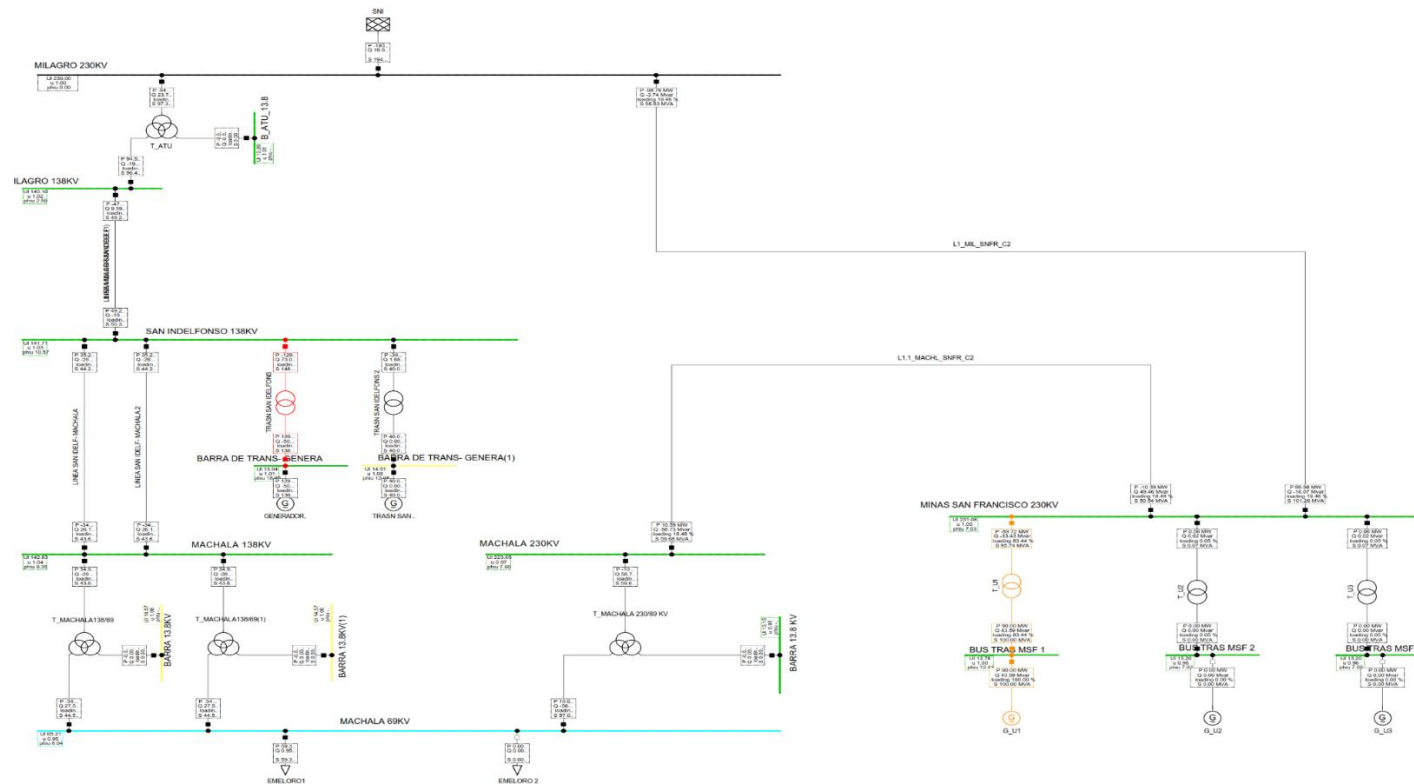


Figura 80 Esquema del sistema de protecciones del generador- transformador y línea de evacuación de la unidad #3 de la Hidroeléctrica Minas San Francisco.

Fuente: Propia

5.1.1 COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

Para una correcta coordinación primero se determina la relación de transformadores de corriente.

Para la determinación de las relaciones de TC se recomienda realizar con los valores máximos de corto circuitos.

Tabla 8 Cálculo para el transformador de corriente

MILAGRO 230kV					
Ikss 1f	Ikss 3f	Ip max	5P20		
[A]	[A]	[A]	Ikss max=	24970	RTC
9948	10100	24970	Ikss/20=	1249	1500

MACHALA 230kV					
Ikss 1f	Ikss 3f	Ip max	5P20		
[A]	[A]	[A]	Ikss max=	9218	RTC
3626	3360	8550	Ikss/20=	461	600

SAN FRANCISCO 230kV					
Ikss 1f	Ikss 3f	Ip max	5P20		
[kA]	[kA]	[kA]	Ikss max=	12543	RTC
4880	4830	12543	Ikss/20=	627	800

Fuente: propia

5.2 Protecciones del generador- transformador y línea de evacuación de la unidad #3 de la hidroeléctrica Minas San Francisco.

Cuadro de diálogo del resumen de ajuste de las protecciones

DIGSILENT		Project: Minas San Francisco	
		PowerFactory	
14.1.3		Date: 1/16/2018	
RL2		Relay Type : RL1	
Location	: Cubicle	: Cub_4	Branch : L1.1_MACHL_SNFR_C2
Busbar	: MACHALA 230KV /		
CT2		Ratio : 600A/5A	
No. Phases	: 3	Phase 1 : a	Phase 2 : b
Connection	: Y		
CT2		Ratio : 600A/5A	
No. Phases	: 3	Phase 1 : a	Phase 2 : b

Connection : Y		
PT2	Ratio	: 230000V/115V
Connection : Y		
Measurement		
Nominal Current (5.0 A)	:	5.00 A
Nominal Voltage (100.0 - 110.0 V)	:	100.00 V
Delta Measure		
Nominal Current (5.0 A)	:	5.00 A
Nominal Voltage (100.0 - 110.0 V)	:	100.00 V
MeasI0mut		
Nominal Current (5.0 A)	:	5.00 A
Polarizing Z1		
Polarizing Z1b-Z2-Z5		
Dir-Z	Out of Service	: No
Directional Angle, phi (45.0 deg)	:	45.000 deg
Z1 (IEC: Z>> ANSI: 21)	Out of Service	: No
Tripping Direction	:	Forward
+X Reach (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	:	1.520 sec.Ohm
+R Resistance (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	:	11.000 sec.Ohm
Relay Angle (30.0 - 90.0 deg)	:	90.000 deg
+X Angle (0.0 - 45.0 deg)	:	0.000 deg
Z1b (IEC: Z>> ANSI: 21)	Out of Service	: Yes
Tripping Direction	:	Forward
+X Reach (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	:	10.000 sec.Ohm
+R Resistance (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	:	4.500 sec.Ohm
Relay Angle (30.0 - 90.0 deg)	:	90.000 deg
Z2 (IEC: Z>> ANSI: 21)	Out of Service	: No
Tripping Direction	:	Forward
+X Reach (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	:	2.280 sec.Ohm
+R Resistance (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	:	11.000 sec.Ohm
Relay Angle (30.0 - 90.0 deg)	:	90.000 deg
Z3 (IEC: Z>> ANSI: 21)	Out of Service	: No
Tripping Direction	:	Forward
+X Reach (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	:	4.100 sec.Ohm
+R Resistance (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	:	11.000 sec.Ohm
Relay Angle (30.0 - 90.0 deg)	:	90.000 deg
Z4 (IEC: Z>> ANSI: 21)	Out of Service	: Yes
Tripping Direction	:	Forward
+X Reach (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	:	10.500 sec.Ohm
+R Resistance (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	:	9.500 sec.Ohm
Relay Angle (30.0 - 90.0 deg)	:	90.000 deg
Z5 (IEC: Z>> ANSI: 21)	Out of Service	: Yes

Tripping Direction	: Forward
+X Reach (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	: 12.000 sec.Ohm
+R Resistance (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	: 12.000 sec.Ohm
Relay Angle (30.0 - 90.0 deg)	: 90.000 deg
Z1Mho (IEC: Z>> ANSI: 21)	Out of Service : Yes
Tripping Direction	: Forward
Replica Impedance (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	: 5.000 sec.Ohm
Z1bMho (IEC: Z>> ANSI: 21)	Out of Service : Yes
Tripping Direction	: Forward
Replica Impedance (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	: 7.100 sec.Ohm
Z2Mho (IEC: Z>> ANSI: 21)	Out of Service : Yes
Tripping Direction	: Forward
Replica Impedance (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	: 7.000 sec.Ohm
Z3Mho (IEC: Z>> ANSI: 21)	Out of Service : Yes
Tripping Direction	: Forward
Replica Impedance (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	: 7.500 sec.Ohm
Z4Mho (IEC: Z>> ANSI: 21)	Out of Service : Yes
Tripping Direction	: Forward
Replica Impedance (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	: 8.400 sec.Ohm
Z5Mho (IEC: Z>> ANSI: 21)	Out of Service : Yes
Tripping Direction	: Forward
Replica Impedance (0.01 - 120.0 sec.Ohm)	: 10.000 sec.Ohm
ZT1m	Out of Service : No
Time Setting (0.0 - 30.0 s)	: 0.000 s
ZT1bm	Out of Service : Yes
Time Setting (0.0 - 30.0 s)	: 0.000 s
ZT2m	Out of Service : No
Time Setting (0.0 - 30.0 s)	: 0.300 s
ZT3m	Out of Service : No
Time Setting (0.0 - 30.0 s)	: 0.800 s
ZT4m	Out of Service : Yes
Time Setting (0.0 - 30.0 s)	: 0.600 s
ZT5m	Out of Service : Yes
Time Setting (0.0 - 30.0 s)	: 0.900 s
ZT1	Out of Service : No
Time Setting (0.0 - 30.0 s)	: 0.000 s
ZT1b	Out of Service : Yes
Time Setting (0.0 - 30.0 s)	: 0.000 s

ZT2	Out of Service	: No
Time Setting (0.0 - 30.0 s) :	0.300 s	
ZT3	Out of Service	: No
Time Setting (0.0 - 30.0 s) :	0.800 s	
ZT4	Out of Service	: Yes
Time Setting (0.0 - 30.0 s) :	0.600 s	
ZT5	Out of Service	: Yes
Time Setting (0.0 - 30.0 s) :	0.900 s	
ZT6	Out of Service	: Yes
Time Setting (0.0 - 30.0 s) :	1.200 s	
T7	Out of Service	: Yes
Time Setting (0.0 - 30.0 s) :	2.000 s	
Ip (IEC: I>t ANSI: 51)	Out of Service	: Yes
Tripping Direction	: None	
Current Setting (0.5 - 20.0 sec.A) :	oo. sec.A	
Time Dial (0.05 - 3.0) :	0.500	
Characteristic	: IEC Normal Inverse	
I> (IEC: I>> ANSI: 50)	Out of Service	: Yes
Tripping Direction	: None	
Pickup Current (0.5 - 125.0 p.u.) :	7.500 p.u.	
Time Setting (0.0 - 30.0 s) :	0.500 s	
I>> (IEC: I>> ANSI: 50)	Out of Service	: Yes
Tripping Direction	: None	
Pickup Current (0.5 - 125.0 p.u.) :	10.000 p.u.	
Time Setting (0.0 - 30.0 s) :	0.300 s	
I0> (IEC: IE>> ANSI: 50N)	Out of Service	: Yes
Tripping Direction	: None	
Pickup Current (0.25 - 125.0 sec.A) :	0.250 sec.A	
Time Setting (0.0 - 30.0 s) :	0.000 s	
I0>> (IEC: IE>> ANSI: 50N)	Out of Service	: Yes
Tripping Direction	: None	
Pickup Current (0.25 - 125.0 sec.A) :	1.000 sec.A	
Time Setting (0.0 - 30.0 s) :	0.000 s	
I0>>> (IEC: IE>> ANSI: 50N)	Out of Service	: Yes
Tripping Direction	: None	
Pickup Current (0.25 - 125.0 sec.A) :	2.500 sec.A	
Time Setting (0.0 - 30.0 s) :	0.000 s	
High resistance IE> IEC: IE>t ANSI: 51N)	Out of Service	: Yes
Tripping Direction	: None	

Current Setting (0.25 - 125.0 sec.A) :	0.250 sec.A
Time Dial (0.0 - 30.0) :	0.000
Characteristic :	Definite
Fuse failure voltageIEC: U> ANSI: 59)	Out of Service : Yes
Pickup Voltage (1.0 sec.V) :	1.000 sec.V
Closing Logic	Out of Service : No
Breaker	Cubicle Branch
MACHALA 230KV \	Cub_4 L1.1_MACHL_SNFR_C2
Mho Logic	Out of Service : No
Breaker	Cubicle Branch
MACHALA 230KV \	Cub_4 L1.1_MACHL_SNFR_C2
Polygonal & overcurre	Out of Service : No
Breaker	Cubicle Branch
MACHALA 230KV \	Cub_4 L1.1_MACHL_SNFR_C2

DIGSILENT Project:
PowerFactory
14.1.3 Date: 1/16/2018
RL1 Relay Type : 7SA510 5A
Location : Cubicle : Cub_2 Branch : L1_MIL_SNFR_C2
Busbar : MILAGRO 230KV /
CT1 Ratio : 1500A/5A
No. Phases : 3 Phase 1 : a Phase 2 : b
Connection : Y
CT1 Ratio : 1500A/5A
No. Phases : 3 Phase 1 : a Phase 2 : b
Connection : Y
TP1 Ratio : 230000V/115V
Connection : Y
Measurement
Nominal Current (5.0 A) : 5.00 A
Nominal Voltage (100.0 - 115.0 V) : 115.00 V
Delta Measure
Nominal Current (5.0 A) : 5.00 A
Nominal Voltage (100.0 - 110.0 V) : 110.00 V
MeasI0mut
Nominal Current (5.0 A) : 5.00 A
Polarizing

Dir-Z	Out of Service	: No
Directional Angle, phi (45.0 deg) :	45.000 deg	
Z1 (IEC: ZE>> ANSI: 21N)	Out of Service	: No
Tripping Direction	: Forward	
+X Reach (0.01 - 26.0 sec.Ohm) :	7.804 sec.Ohm	
+R Resistance (0.01 - 13.0 sec.Ohm) :	11.000 sec.Ohm	
Relay Angle (75.0 deg) :	75.000 deg	
Z2 (IEC: ZE>> ANSI: 21)	Out of Service	: No
Tripping Direction	: Forward	
+X Reach (0.01 - 26.0 sec.Ohm) :	11.708 sec.Ohm	
+R Resistance (0.01 - 13.0 sec.Ohm) :	11.000 sec.Ohm	
Relay Angle (75.0 deg) :	75.000 deg	
Z3 (IEC: ZE>> ANSI: 21N)	Out of Service	: No
Tripping Direction	: Forward	
+X Reach (0.01 - 26.0 sec.Ohm) :	21.000 sec.Ohm	
+R Resistance (0.01 - 13.0 sec.Ohm) :	11.000 sec.Ohm	
Relay Angle (75.0 deg) :	75.000 deg	
Z1b (IEC: ZE>> ANSI: 21N)	Out of Service	: Yes
Tripping Direction	: Forward	
+X Reach (0.01 - 26.0 sec.Ohm) :	4.000 sec.Ohm	
+R Resistance (0.01 - 13.0 sec.Ohm) :	2.800 sec.Ohm	
Relay Angle (90.0 deg) :	90.000 deg	
ZT1	Out of Service	: No
Time Setting (0.0 - 32.0 s) :	0.000 s	
ZT2	Out of Service	: No
Time Setting (0.0 - 32.0 s) :	0.400 s	
ZT3	Out of Service	: No
Time Setting (0.0 - 32.0 s) :	0.800 s	
ZT4	Out of Service	: Yes
Time Setting (0.0 - 32.0 s) :	1.000 s	
T5	Out of Service	: Yes
Time Setting (0.0 - 32.0 s) :	0.200 s	
ZT1b	Out of Service	: Yes
Time Setting (0.0 - 32.0 s) :	0.000 s	
Thermal overload (IEC: IT ANSI: 49)	Out of Service	: Yes
Tripping Direction	: None	
Current Setting (0.1 - 4.0 p.u.) :	1.000 p.u.	
Time Dial (1.0 - 999.9) :	1.000	
Characteristic	: Thermal Overload	
Iph> (IEC: I>> ANSI: 51)	Out of Service	: Yes

Tripping Direction	:	None
Pickup Current (0.1 - 4.0 p.u.)	:	3.000 p.u.
Time Setting (0.0 - 32.0 s)	:	0.400 s
I>> (IEC: I>> ANSI: 50)		Out of Service : Yes
Tripping Direction	:	None
Pickup Current (0.5 - 9.99 p.u.)	:	5.000 p.u.
Time Setting (0.0 - 32.0 s)	:	0.000 s
IE> (IEC: IE>> ANSI: 50N)		Out of Service : Yes
Tripping Direction	:	None
Pickup Current (0.1 - 4.0 p.u.)	:	1.000 p.u.
Time Setting (0.0 - 32.0 s)	:	0.200 s
High resistance IE> IEC: IE>t ANSI: 51N)		Out of Service : Yes
Tripping Direction	:	None
Current Setting (0.1 - 4.0 p.u.)	:	1.000 p.u.
Time Dial (0.0 - 32.0)	:	0.060
Characteristic	:	extremly inverse
Fuse failure voltageIEC: U> ANSI: 59)		Out of Service : Yes
Pickup Voltage (1.0 sec.V)	:	1.000 sec.V
Closing Logic		Out of Service : No
Breaker	Cubicle	Branch
MILAGRO 230KV \	Cub_2	L1_MIL_SNFR_C2
Logic		Out of Service : No
Breaker	Cubicle	Branch
MILAGRO 230KV \	Cub_2	L1_MIL_SNFR_C2

RLI1		Relay Type : 1. SOBRECORRIENTE BASE	
Location	: Cubicle	: Cub_1	Branch : T_U1
	Busbar	: MINAS SAN FRANCISCO 2/	

CT3		Ratio	: 800A/5A
No. Phases	: 3	Phase 1	: a
Connection	: Y	Phase 2	: b
Voltage Transformer		Ratio	: 230000V/150V
Connection	: Y		
Medidas FT			
Nominal Current (5.0	A	)	: 5.00 A

67/51	(IEC: I>t ANSI: 51)	Out of Service	: No
Tripping Direction		: None	
Current Setting (0.01 - 125.0 sec.A)	:	2.260 sec.A	
Time Dial (0.01 - 5.0)	:	0.150	
Characteristic	:	1_IEC Standard Inverse	
67N/50N	(IEC: IE>t ANSI: 51N)	Out of Service	: Yes
Tripping Direction		: None	
Current Setting (0.2 - 125.0 sec.A)	:	0.200 sec.A	
Time Dial (0.01 - 2.0)	:	0.010	
Characteristic	:	Definite Time	
67N/51N	(IEC: IE>t ANSI: 51N)	Out of Service	: No
Tripping Direction		: None	
Current Setting (0.01 - 125.0 sec.A)	:	0.750 sec.A	
Time Dial (0.01 - 5.0)	:	0.150	
Characteristic	:	1_IEC Standard Inverse	

CAPITULO 6.

6. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN.

6.1 Conclusión.

Al proponer la realización del estudio de coordinación de protecciones eléctricas de la Unidad N°3 de la Hidroeléctrica Minas – San Francisco, cómo trabajo de investigación, se llegó como objetivo general dar a conocer los parámetros de coordinación tanto en el generador, transformador de potencia y línea de evacuación eléctrica; para realizar y diagnosticar diferentes eventualidades con operaciones anormales para el sistema de protecciones.

En base a los parámetros expuestos, la simulación del software dio las siguientes conclusiones:

1. Que las protecciones eléctricas son de gran importancia dentro del sistema eléctrico de potencia, la misma que ha tenido grandes avances tecnológicos y que permite dar seguridad a los diferentes equipos eléctricos ante anomalías o perturbaciones eléctricas.
2. El software DigSILENT Power Factory es una herramienta que permite realizar simulaciones del sistema eléctrico de potencia con la obtención de varios tipos de análisis en el sistema. Para este estudio se utilizó la simulación de flujo de potencia, el análisis de cortocircuitos, fallas trifásicas, fallas bifásicas, fallas monofásicas.
3. Al tener incorporado Dispositivos Inteligentes Electrónicos (IED) en la central hidroeléctrica Minas – San Francisco esta permite tener una mayor confiabilidad en el accionar de las protecciones, ya que los IEDs incorporan varias técnicas y tipos de protección.
4. Con los datos conseguidos por parte de la Unidad de Negocios ENERJUBONES, se logró obtener la respectiva simulación del estudio de coordinaciones de protecciones eléctricas en la Unidad N°3. Permitiendo ejecutar cortocircuitos, fallas y flujos de potencia en el sistema eléctrico de potencia para analizar el comportamiento de las protecciones.
5. Los ajustes de las protecciones deben estar acuerdo a los límites establecidos por las normas internacionales y por ARCONEL (Agencia de Regulación y Control de Electricidad), ya que al momento de tener sobrevoltajes en las barras en el sistema eléctrico no perjudique o permita sacar de servicio a un generador.

6. Mediante el desarrollo del estudio se puede apreciar que cuando existe la operación de un solo generador el voltaje a carga máxima va actuar a los límites establecidos por parte del fabricante para garantizar la transmisión de energía ya sea asta Machala 230kv o Milagros 230kv

6.2 Recomendación.

Se recomienda para la calibración de los IED's del estudio realizado, que la coordinación de las protecciones debe ser ejecutada por personal capacitado para dicho trabajo, evitando la mala manipulación de los equipos.

Para tener una precisa calibración de protecciones, se deberá esperar a que la central se encuentre en operación, ya que ayudará a la medición directa y realizar pruebas en equipos instalados y determinar precisión en las protecciones. Dando gran importancia a las reactancias de los generadores y transformadores.

El estudio realizado servirá como referencia para las protecciones del generador-transformador y línea corta, debido que estos equipos serán definidos sus ajustes de protecciones por los fabricantes para garantizar su funcionamiento y su integridad.

Seria primordial que dentro de las instituciones existan clases de protecciones eléctricas sobre configuraciones, calibración y ajustes de relés y poder aplicar en un laboratorio que se encuentre equipado con diferentes IED's y demostrar el funcionamiento y cálculo de cada uno de ellos.

Se recomienda a la institución obtener el software DlgSILENT Power Factory de barras ilimitadas para la manipulación de las herramientas existentes en dicho programa.

6.3 Bibliografía

- A., A. S., & Brabo lopez, S. A. (2016). *ESTUDIO PARA LA MODERNIZACIÓN DE LA CENTRAL*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/24175>
- Beijing Sifang Automation Co., L. (2014). *SIFANG*. Obtenido de <http://www.sifang-electric.com/index.php/en/>
- Castaño, S. R. (s.f.). *Protección de Sistemas*. MEXICO: Universidad Nacional de Colombia.
- CENACE. (2001). *PROTECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA Y AUTOMATISMO*. QUITO.
- CERVANTES, F. G. (206). *ANALISIS DE LA COORDINACION DE PROTECCIONES EN CENTRALES ELECTRICAS*. MEXICO.
- ECUADOR, C. E. (s.f.). *CELEC-EP ENERJUBONES*. Obtenido de https://www.celec.gob.ec/enerjubones/index.php?option=com_content&view=article&id=18&Itemid=113
- Electricidad, A. d. (21 de 05 de 2013). *Plan Maestro de Electrificación 2013-2022*. Obtenido de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/plan-maestro-de-electrificacion-2013-2022/>
- HARPER, E. (2009). *TECNOLOGIAS DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA*. MEXICO: LIMUSA.
- integratech, I. (2004). *TUTORIAL IEEE DE PROTECCION DE GENERADORES SINCRONOS*.
- Juárez, J. D. (1992). *CENTRALES HIDROELECTRICAS*. Mexico: otoño de 1992.
- Martínez, E. V. (2014). *PROTECCION DIFERENCIAL DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA*. MEXICO.
- MENDOZA, S. (19 de 11 de 2014). *PROTECCIONES ELECTRICAS*. Obtenido de <http://proteccioneselectricas101.blogspot.com/>
- Rios, L., & Troncoso, A. (2011). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DEFINITIVO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO MINAS ALTERNATIVA SAN FRANCISCO Y ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DEFINITIVO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO LA UNIÓN*. Cuenca.
- Rodríguez Ferrero, V. M. (15 de 06 de 2012). *Protecciones eléctricas en DlgSILENT*. Obtenido de Trabajos Fin de Grado Escuela Politécnica Superior: <http://hdl.handle.net/10016/16829>
- SALVADOR, A. M., & CARCHIPULLA SACA, C. A. (2015). *INGENIERIA DE DISEÑO PARA LA UTILIZACION DE LOS RELES MULTIFUNCIONALES DE LA CENTRAL MAZAR EN LA UNIDADES DE LA CENTRAL MOLINO PERTENECIENTES A CELEC EP. HIDROPAUTE*. CUENCA.

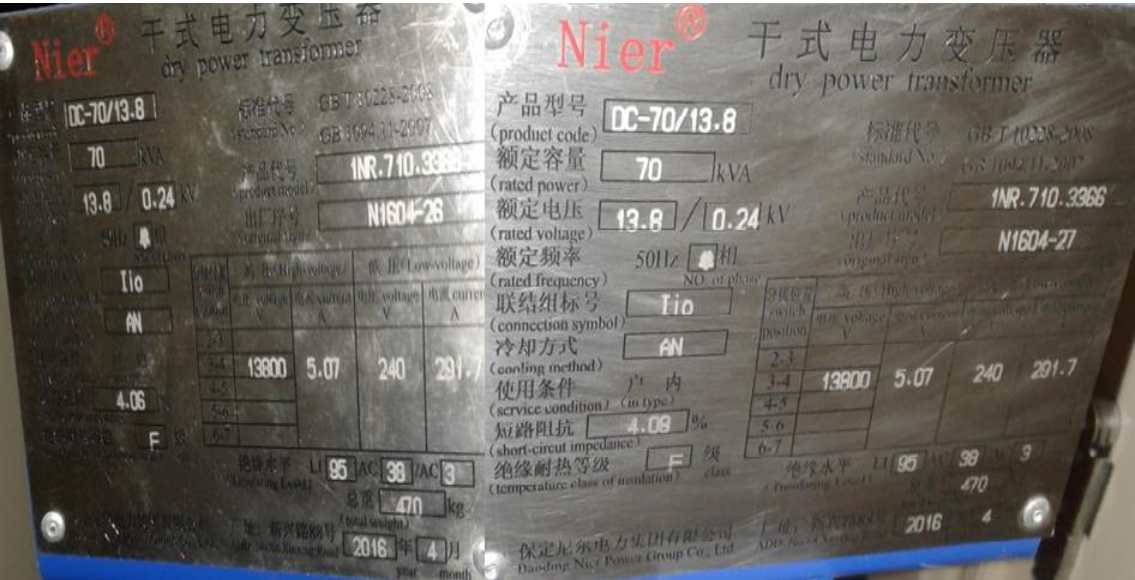
ANEXOS

ANEXO 1 Transformador puesta a tierra del neutro Unidad 03

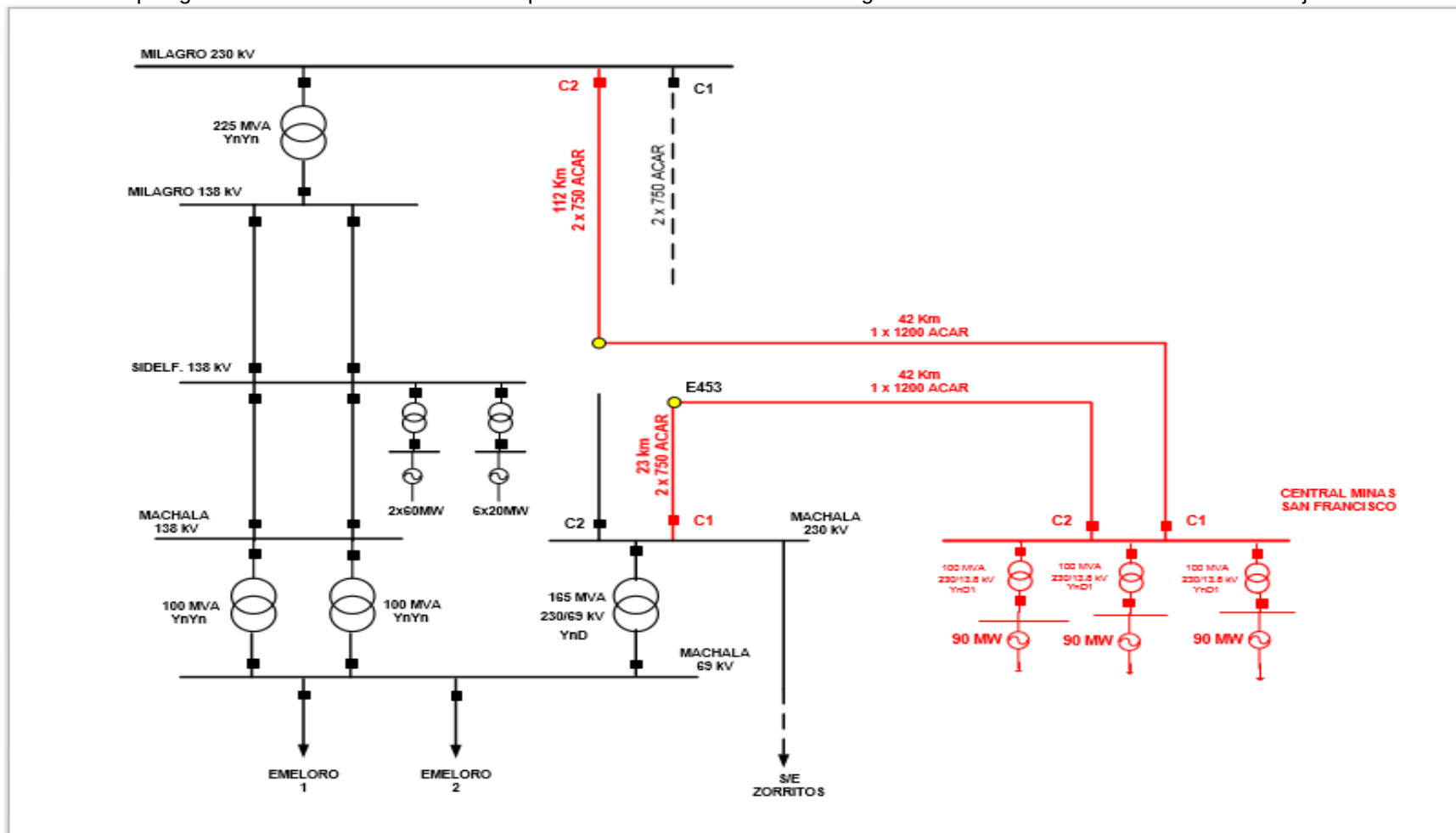
DESCRIPCION	EQUIPO / OBJETO	UNIDAD DE MEDIDA aprobada
NUMERO DE FASES	3	*
TIPO	DC-70/13,8 Seco	*
RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN	13,8/0,24	*
NÚMERO DE DEVANADOS SECUNDARIOS	2	ADM
POTENCIA NOMINAL	70	KVA
ALTITUD DE INSTALACIÓN	≤ 1000	
INSTALACIÓN	INTERNA	*
NUMERO DE SERIE	N1604-26	*
NOMBRE DE FABRICANTE	Baoding Nier Power Goup Co., Ltd.	*
AÑO DE FABRICACIÓN	2016	ADM
FECHA DE ENERGIZACIÓN (INICIO OPERACIÓN)		*
LUGAR DE FABRICACIÓN	China	
MARCA	Nier	*
MODELO	1NR.710.3366	*
CORRIENTE NOMINAL PRIMARIA	5,07	A
CORRIENTE NOMINAL SECUNDARIA	291,7	A
FRECUENCIA	60	Hz
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO		KA
POTENCIA		KW
TIPO (GRUPO) DE CONEXIÓN	lio	
VOLTAJE DE OPERACIÓN		KV
VOLTAJE NOMINAL ALTA TENSIÓN	13,8	KV
VOLTAJE NOMINAL BAJA TENSIÓN	0,24	KV

Fuente: Unidad De Negocio Celec Ep Hidrojubones.

ANEXO 2 Modelo del transformador puesta a tierra del neutro u03 con su respectiva placa.



ANEXO 3 Topología de análisis de coordinación de protecciones eléctricas zona Milagro-Minas San Francisco – Machala 230 kv junio 2017.



Fuente: Unidad De Negocio Celec Ep Hidrojubones.

ANEXO 4 Esquema eléctrico de líneas única de Minas Hydro Powerstation

设备表 Electrical Equipment list

NO. 序号	Name 名称	Type 型号	Unit 单位	QTY 数量	Remark 备注
Generator 发电机	1 Hydro generator 水轮发电机	100MW/13.8kV, 60Hz, COS φ=0.9	set 台	3	
	2 230kV main transformer 230kV主变压器	120MVA, 110kV/230kV, 13.8/230±2×2.5kV, U ₀ =17kV	set 台	3	
	3 Excitation transformer 励磁变压器	Three phases, dry type, 13.8/0.46kV, 900kVA, 1kV11	set 台	3	
	4 Grounding transformer of generator 发电机中性点接地变压器	Dry type, 13.8/0.24kV, 10A, R=0.68Ω, 50kVA	set 台	3	Included secondary side grounding resistance in the transformer
Voltage Equipment 电气设备	5 13.8kV generator leads enclosed busbar 13.8kV发电机主引出线封闭式母线	13.8kV, 5000A, IP54	meter 米	480	Single phase
	6 13.8kV generator leads enclosed busbar 13.8kV发电机主引出线封闭式母线	13.8kV, 630A, IP54	meter 米	60	Single phase
	7 Arrester of generator 避雷器	10kV, zinc oxide, continuous operating voltage 13.8 kV	pcs 台	9	
	8 Shunt capacitor 并联电容器	见图, see the drawing	pcs 台	9	
	9 13.8kV PT 13.8kV电压互感器	见图, see the drawing	pcs 台	9	
	10 13.8kV PT 13.8kV电压互感器	见图, see the drawing	pcs 台	18	
	11 13.8kV CT 13.8kV电流互感器	见图, see the drawing	pcs 台	24	
	12 13.8kV CT 13.8kV电流互感器	见图, see the drawing	No. 台	4	
	13 13.8kV circuit breaker cabinet 13.8kV断路器柜	1200A, 63kA, vacuum circuit breaker, BIL: 10kV, 1min power frequency withstand voltage (virtual value): 95kV	pcs 台	6	
	14 13.8kV CT 13.8kV电流互感器	60/5, 0.2, 30VA 150/5, 3P30, 30VA	pcs 台	3	Included in 2
CT and arrester 主变交流互感器及避雷器	15 Neutral grounding CT at HV side of 230kV main transformer 230kV主变高压侧中性点电流互感器	见图, see the drawing	set 组	9	Included in 2
	16 CT at HV side of 230kV main transformer 230kV主变高压侧电流互感器	见图, see the drawing	set 组	9	Included in 2
	17 CT at LV side of 230kV main transformer 230kV主变低压侧电流互感器	见图, see the drawing	set 组	9	Included in 2
	18 230kV arrester 230kV避雷器	110kV-192/300, BIL: 95kV, 1min power frequency withstand voltage (virtual value): 95kV	pcs 台	9	SF6 pot-type
230kV HV 230kV 户外开关设备	19a 230kV circuit breaker 230kV断路器	230kV SF6, 2000A, 31.5kA, BIL: 95kV, 1min power frequency withstand voltage (virtual value): 95kV	set 组	3	Three-phase operating mechanism without recloser 三相联动操作机构, 无重合闸合同
	19b 230kV circuit breaker 230kV断路器	230kV SF6, 2000A, 31.5kA, BIL: 95kV, 1min power frequency withstand voltage (virtual value): 95kV	set 组	5	Single-phase operating mechanism with recloser 单相操作机构, 带重合闸合同
	20 230kV disconnecter with double earthing switches 230kV带接地刀闸隔离开关	230kV, 2000A, 31.5kA, BIL: 95kV, 1min power frequency withstand voltage (virtual value): 395kV	set 组	5	
	21 230kV disconnecter with single earthing switch 230kV带接地刀闸隔离开关	230kV, 2000A, 31.5kA, BIL: 95kV, 1min power frequency withstand voltage (virtual value): 395kV	set 组	16	
	22 230kV outdoor CT 230kV电流互感器	见图, see the drawing	pcs 台	24	
	23 230kV outdoor CT 230kV电流互感器	见图, see the drawing	pcs 台	24	
	24 230kV outdoor PT 230kV电压互感器	$(230/\sqrt{3})/(0.115/\sqrt{3})/(0.115/\sqrt{3})/(0.115/\sqrt{3})$ 3kV, BIL: 95kV, 1min power frequency withstand voltage (virtual value): 395kV	pcs 台	9	Capacitive type 电容式
	25 230kV outdoor PT 230kV电压互感器	$(230/\sqrt{3})/(0.115/\sqrt{3})/(0.115/\sqrt{3})/(0.115/\sqrt{3})$ 3kV, BIL: 95kV, 1min power frequency withstand voltage (virtual value): 395kV	pcs 台	18	Capacitive type 电容式
	26 230kV arrester 230kV避雷器	110kV-192/500, BIL: 95kV, 1min power frequency withstand voltage (virtual value): 95kV	pcs 台	15	zinc oxide
	27 230kV earthing switches 230kV接地刀	230kV, 2000A, 31.5kA, BIL: 95kV, 1min power frequency withstand voltage (virtual value): 395kV	set 组	2	
Power cable and accessories 电力电缆及附件	28 230kV power cable 230kV电力电缆	230kV, 1×500mm ² (1000 MCM)	meter 米	6300	Aluminum core
	29 230kV Outdoor type terminals 230kV户外型终端	Outdoor, cold shrink type, for 1×500mm ² cable (1000 MCM)	No. 台	9	
30	230kV Indoor type terminals 230kV户内型终端	Indoor, cold shrink type, for 1×500mm ² cable (1000 MCM)	No. 台	9	

D	06-12-2013	Modified by the comments of the 3rd liaison meeting	Liugang
C	20-04-2013	Modified by the comments of the 2nd liaison meeting	Yuanqiang
B	09-03-2013	Modified by the comments of the 1st liaison meeting and related issues	Yuanqiang
A	01-09-2012	The first submission	Yuanqiang
REVISION	FECHA	DESCRIPTION	REVISION

CORPORACION ELECTRICA DEL ECUADOR -CELEC EP	
UNIDAD DE NEGOCIO ENERJUBONES- CELEC EP	
CONSORCIO HIDROJUBONES	
哈尔滨电气国际工程有限公司 HARBIN ELECTRIC INTERNATIONAL COMPANY LIMITED	
长江勘测规划设计研究有限责任公司 CHANG JIANG SURVEY PLANNING DESIGN AND RESEARCH CO.,LTD	
PROYECTO HIDROELECTRICO MINAS-SAN FRANCISCO	

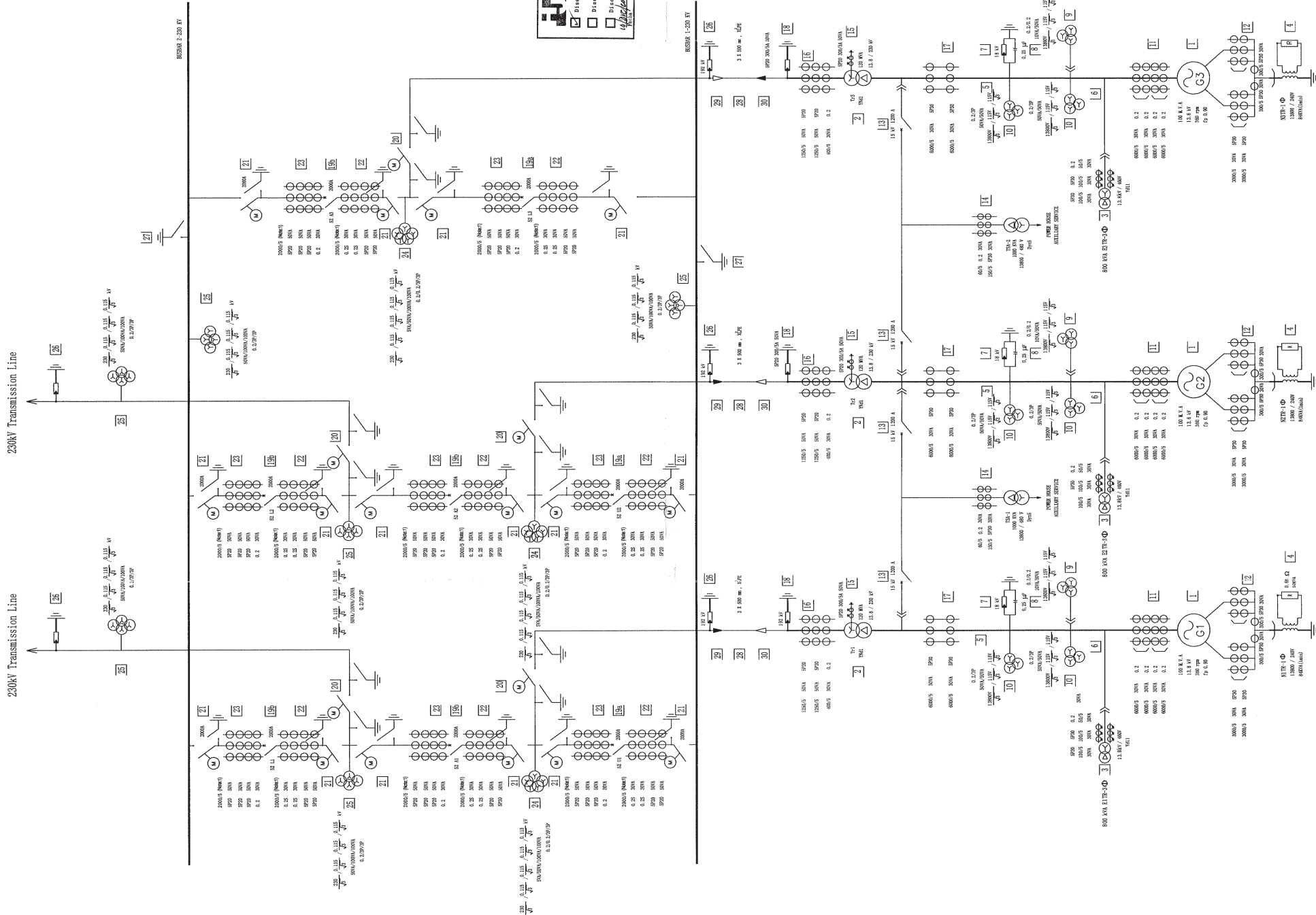
DESIGNADO	DESIGNADO	FECHA	FECHA
ESPECIADAD	ESPECIADAD	FECHA	FECHA
VERIFICADO	VERIFICADO	FECHA	FECHA
APROBADO	APROBADO	FECHA	FECHA
MINAS-APRO-COM-E-P-1001-D		398-E-54-02-04-1001-D	
DECLARACIÓN: Se prohíbe la reproducción y uso de este plano para otro medio que no sea el PMSE, sin la autorización del autor. La versión, se encontrará conforme a las normas nacionales e internacionales de transmisión de datos.			

Legend

Hydro generator	Current transformer
Transformer	Neutral grounding CT at HV side of main transformer
Circuit breaker	Disconnector with single earthing switches
Grounding transformer of generator	Disconnector with double earthing switches
Lightning arrester	Earthing switch
Shunt capacitor	Outdoor type power cable terminal
Potential transformer	Indoor type power cable terminal

Note:

1. The current transformer shall be multi-ratio type.



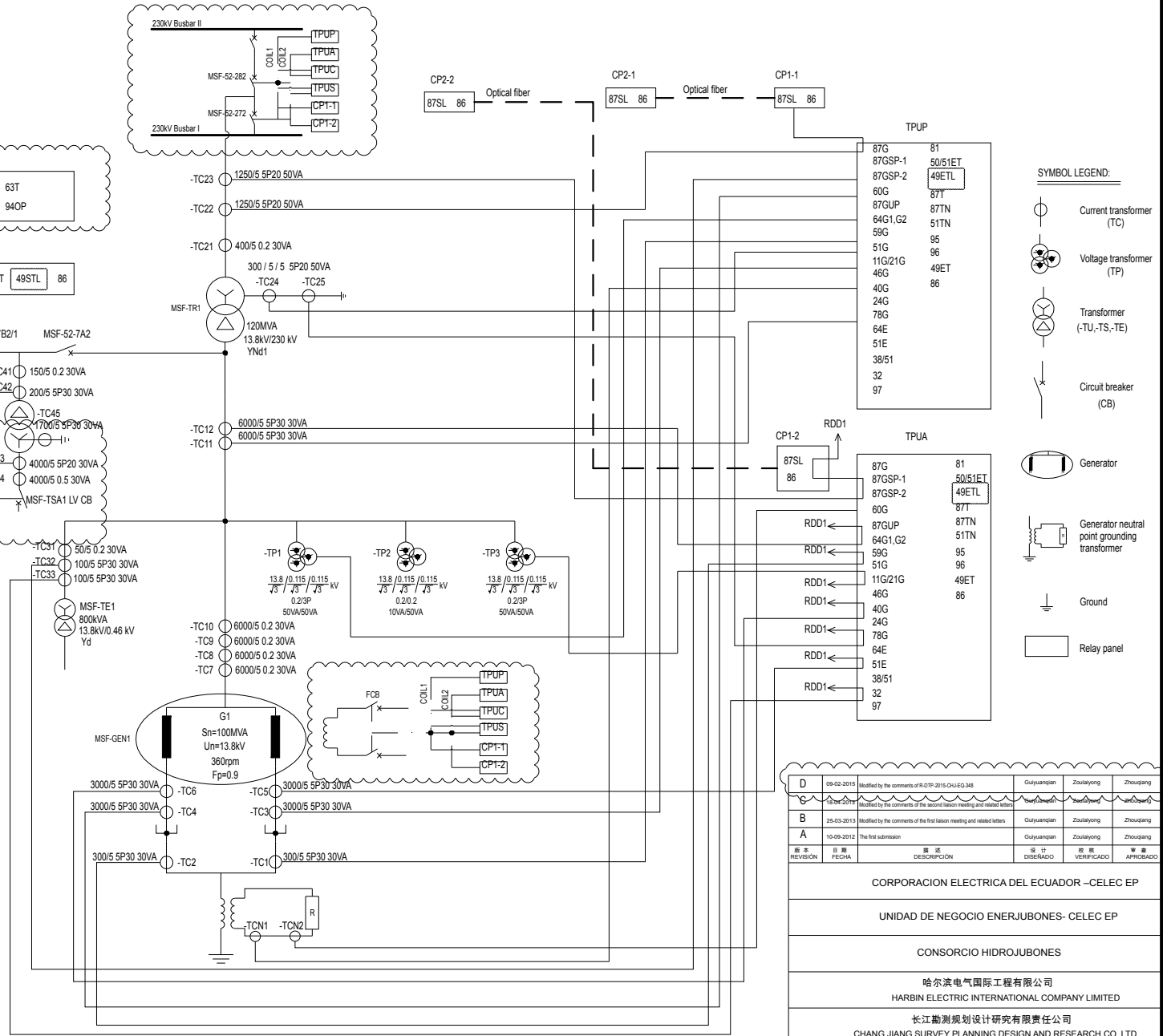
ANEXO 5 Diagrama esquemático del sistema de protección del GENERADOR-TRANSFORMADOR

CODE LEGEND:

87G	Generator complete differential protection
87GSP	Generator combination split-phase and differential protection
60G	Generator zero sequence differential protection
87GUP	Generator split-phase differential protection
64G	Stator grounding protection(90% and 100%)
59G	Stator over voltage protection
49G	Stator over load protection
11G(21G)	Generator back up protection
46G	Generator negative current protection
40G	Generator loss of excitation protection
24G	Generator over excitation protection
78G	Generator out of step protection
64E	Rotator grounding protection
51E	Rotator over load protection
38/51	Axis current protection
32	Reverse power protection
97	Generator inadvertent energizing protection
81	Frequency protection
50/51ET	Excitation transformer over current protection
49ETL	Excitation transformer over load protection
87T	Main transformer differential protection
87TN	Main transformer zero sequence differential protection
51TN	Main transformer zero sequence protection
87ST	Station service transformer differential protection
51ST	Station service transformer over current protection
49STL	Station service transformer over load protection
ATS	Automatic transfer switching equipment
95	Voltage transformer disconnect protection
96	Current transformer disconnect protection
80TH	Main transformer heavy gas protection
80TL	Main transformer light gas protection
94WT	Main transformer winding temperature protection
63T	Main transformer gas release protection
54T	Main transformer cooler failure protection
94OT	Main transformer oil temperature protection
94OL	Main transformer oil level abnormal protection
94OP	Main transformer oil pressure abnormal protection
49ST	Station service transformer over temperature protection
49ET	Excitation transformer over temperature protection
26/49G	Stator windings over temperature protection
86	Trip lock-out relay
CP1	Short cable protection panel #1(power station side)
CP2	Short cable protection panel #2(substation side)
87SL	Short cable optical current differential protection
TPUP	Primary protection panel for generator and transformer protection
TPUA	Alternative protection panel for generator and transformer protection
TPUC	Common protection panel for generator and transformer protection
TPUS	Station service transformer protection panel
Optical fiber	Optical fiber
Protection trip action	Protection trip action
RDD1	Digital recorder of distorted for generator and transformer unit
Protection panel installed at substation side	Protection panel installed at substation side

Note:

1. 本图仅表示1#发变组单元的保护配置图, 2#和3#机组的保护配置图和1#相同。2. 虚线框表示的CP2保护屏安装在开关站侧, 通过光缆和发变组侧的CP1连接。
This drawing shows only the #1 unit protection configuration, #2 and #3 unit are the same as #1.
CP2 in dashed box are installed at 230kV substation side, communicating with CP1 of generator unit side through optical fiber.

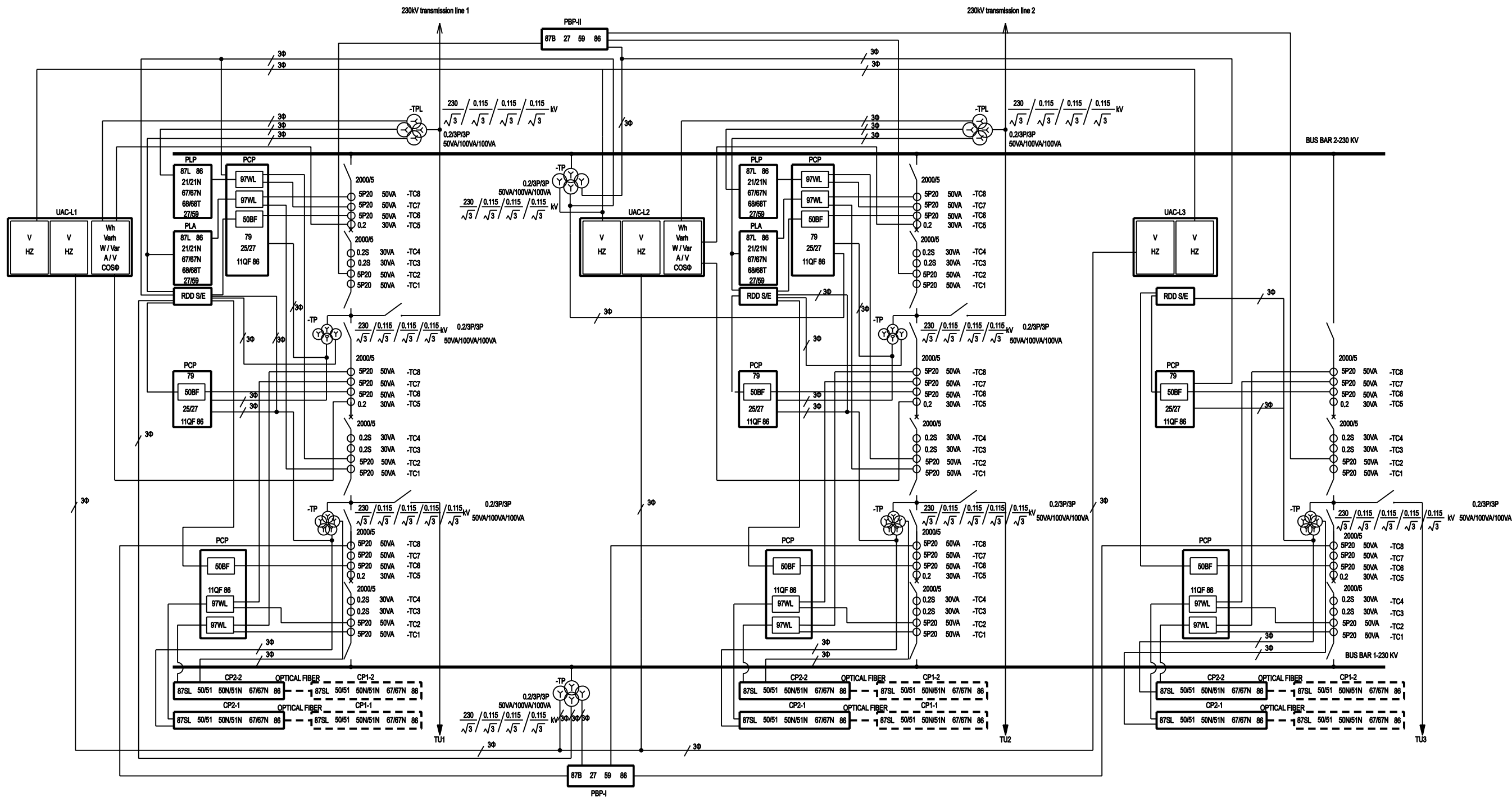


SYMBOL LEGEND:

	Current transformer (TC)
	Voltage transformer (TP)
	Transformer (-TU, -TS, -TE)
	Circuit breaker (CB)
	Generator
	Generator neutral point grounding transformer
	Ground
	Relay panel

D	09-02-2015	Modified by the comments of R-DTP-2015-CHU-EQ-348	Guyluanqian	Zoulayang	Zhouqiang
C	10-04-2015	Modified by the comments of the second liaison meeting and related letters	Guyluanqian	Zoulayang	Zhouqiang
B	25-03-2013	Modified by the comments of the first liaison meeting and related letters	Guyluanqian	Zoulayang	Zhouqiang
A	10-09-2012	The first submission	Guyluanqian	Zoulayang	Zhouqiang
版本 REVISION	日期 FECHA	描述 DESCRIPCION	设计 DISEÑADO	校核 VERIFICADO	审核 APROBADO
CORPORACION ELECTRICA DEL ECUADOR -CELEC EP					
UNIDAD DE NEGOCIO ENERJUBONES- CELEC EP					
CONSORCIO HIDROJUBONES					
哈尔滨电气国际工程有限公司 HARBIN ELECTRIC INTERNATIONAL COMPANY LIMITED					
长江勘测规划设计研究院有限责任公司 CHANG JIANG SURVEY PLANNING DESIGN AND RESEARCH CO.,LTD					
PROYECTO HIDROELÉCTRICO MINAS-SAN FRANCISCO					
设计 DISEÑADO		发变组保护系统配置图			
校核 VERIFICADO		Diagrama esquemático del sistema de protección del Generador-Transformador			
审核 APROBADO		(Diseño conceptual)			
日期 FECHA	09-02-2015				
PLANO DE REFERENCIA		MIN-LD-PD-GEN-ELE-P-P-0505-D	文件编号 NUMERO DEL DOCUMENTO	389-E-55-02-04-POS-D	
声明: 本图属权, 不得翻印(含), 作他用途。对于侵权行为将依法追究法律责任。 DECLARACION: Se Prohibe: La reproducción o uso de este plano para otro motivo que no sea el PMSEF sin la autorización del autor. la violación, se sancionará conforme las normas nacionales e internacionales de protección de la propiedad intelectual.					

ANEXO 6 Diagrama esquemático del sistema de protección de la subestación 230Kv.



CODE LEGEND

87L	LINE DIFFERENTIAL PROTECTION	79	RECLOSE FUNCTION	PLA	ALTERNATIVE LINE PROTECTION PANEL
21	DISTANCE PROTECTION PHASE	25/27	CHECK SYNC FUNCTION	PBP-I(II)	BUS BAR I(II) PRIMARY PROTECTION PANEL
21N	DISTANCE PROTECTION OF GROUND	87B	BUS BAR DIFFERENTIAL PROTECTION	PCP	CIRCUIT BREAKER PROTECTION PANEL
50/51	PHASE OVER CURRENT PROTECTION	27	LOW VOLTAGE PROTECTION	RDD S/E	DIGITAL RECORDER OF DISTORTED FOR SUBSTATION
50N/51N	EARTH FAULT OVER CURRENT PROTECTION	59	OVER VOLTAGE PROTECTION	CP1	SHORT CABLE PROTECTION PANEL #1(POWER STATION SIDE)
67/67N	DIRECTIONAL OVER CURRENT PROTECTION	87SL	SHORT CABLE OPTICAL DIFFERENTIAL PROTECTION	CP2	SHORT CABLE PROTECTION PANEL #2(SUBSTATION SIDE)
68/68T	PROTECTION OF POWER SWING	11QF	CIRCUIT BREAKER POLE DISCORDANCE PROTECTION	UAC-L1,L2,L3	Control and measure unit for 230kV diameter 1,2,3
97WL	SHORT LINE DIFFERENTIAL PROTECTION	86	TRIP LOCK-OUT RELAY	--	OPTICAL FIBER
50BF	BREAKER FAILURE PROTECTION	PLP	LINE PRIMARY PROTECTION PANEL	- - -	PROTECTION PANEL INSTALLED AT POWERSTATION SIDE

SYMBOL LEGEND

	CURRENT TRANSFORMER (TC) (MULT-RATIO)		ISOLATOR SWITCH (DS)
	VOLTAGE TRANSFORMER (TP)		CIRCUIT BREAKER (CB)
	VOLTAGE TRANSFORMER (TP)		RELAY OR LCU PANEL

F	15-08-2014	Modified by the comments of the forth liaison meeting	Guiyuanqian	Zoulaizhong	Zhouqiang
E	17-07-2014	Modified by the comments of the forth liaison meeting	Guiyuanqian	Zoulaizhong	Zhouqiang
D	24-06-2014	Modified by the comments of the third liaison meeting and comments of CELEC-EP-ENJ-2014-0394-OFI	Guiyuanqian	Zoulaizhong	Zhouqiang
C	18-04-2013	Modified by the comments of the second liaison meeting and related letters	Guiyuanqian	Zoulaizhong	Zhouqiang
B	25-03-2013	Modified by the comments of the first liaison meeting and related letters	Guiyuanqian	Zoulaizhong	Zhouqiang
A	10-09-2012	The first submission	Guiyuanqian	Zoulaizhong	Zhouqiang
REVISION	FECHA	描述 DESCRIPCION	设计 DISEÑADO	校核 VERIFICADO	审查 APROBADO



哈尔滨电气国际工程有限公司
HARBIN ELECTRIC INTERNATIONAL COMPANY LIMITED

长江勘测规划设计研究有限责任公司
CHANG JIANG SURVEY PLANNING DESIGN AND RESEARCH CO.,LTD

声明: 未经授权, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究其法律责任的权利。
DECLARACIÓN: Se Prohibe: La reproducción y uso de este plano para otro motivo que no sea el PMSF sin la autorización del autor, la violación, se sancionará conforme las normas nacionales e internacionales de protección de la propiedad intelectual.

PROYECTO HIDROELÉCTRICO MINAS-SAN FRANCISCO		ESCALA	REVISIÓN
TÍTULO DE DIBUJO 230kV开关站保护系统配置图 Diagrama esquemático del sistema de protección de la subestación 230kV			F
TÍTULO DE PÁGINA		CÓDIGO PLANO MIN-L0-PD-GEN-ELE-P-P-0506-F	
		PÁGINA	1
		SIGUIENTE	-
		承包商内部图号 CÓDIGO CONTRATISTA	389-E-55-02-04-P06-F

ANEXO 7 Curva de capacidad de los generadores



哈尔滨电气国际工程有限责任公司
HARBIN ELECTRIC INTERNATIONAL COMPANY LIMITED

发至 (a):	CELEC ENERJUBONES.	发件人 (de)	Ing. Zhang Shuguang.
部门 (Dept.):		部门 (Dept.):	Departamento de Nueva Energía.
收件人 (Attn.):	Ing. William Barcenes G.	批准人 (Apr.por):	
传真号 (Fax):		编号 (Ref.):	HEI-05-HECMS1-0201FW9204-AD/EQ
页数 (Páginas):	1	日期 (Date):	2017-04-06
抄送 (CC:)			

Señor:

Ing. William Barcenes G.

SUBGERENTE DE PRODUCCIÓN / ADMINISTRADOR DEL CONTRATO DEL PROYECTO

MINAS-SAN FRANCISCO.

Asunto: Entrega de las curvas de capacidad de los generadores.

Referencia: CELEC-EP-ENJ-2017-0284-OFI.

SUBGERENCIA DE PRODUCCIÓN

Recibido:

☒ Reasignar ☐ Informar ☐ Archivar ☐ Tarea

P. Varquez

Para su análisis. Preparar respuesta

☐ Reasignar ☒ Informar ☐ Archivar ☐ Tarea

J. Rockwood, su conocimiento

Firma: *[Signature]*

De mi Consideración:

En atención a la solicitud expresada en el oficio de la referencia, adjunto sírvase encontrar las curvas de capacidad de los generadores, que la Contratista entrega, para su informe.

Anexos:

- | | |
|---------------------------------|--------|
| 1. POWER CHART | 1 hoja |
| 2. NEGATIVE SEQUENCE HEAT CURVE | 1 hoja |
| 3. STATOR ROTOR OVERLOAD CURVE | 1 hoja |

Con sentimientos de consideración y estima.

Atentamente,

[Signature]

Ing. Zhang Shuguang.

REPRESENTANTE DE LA CONTRATISTA.

HARBIN ELECTRIC INTERNATIONAL CO. LTD.

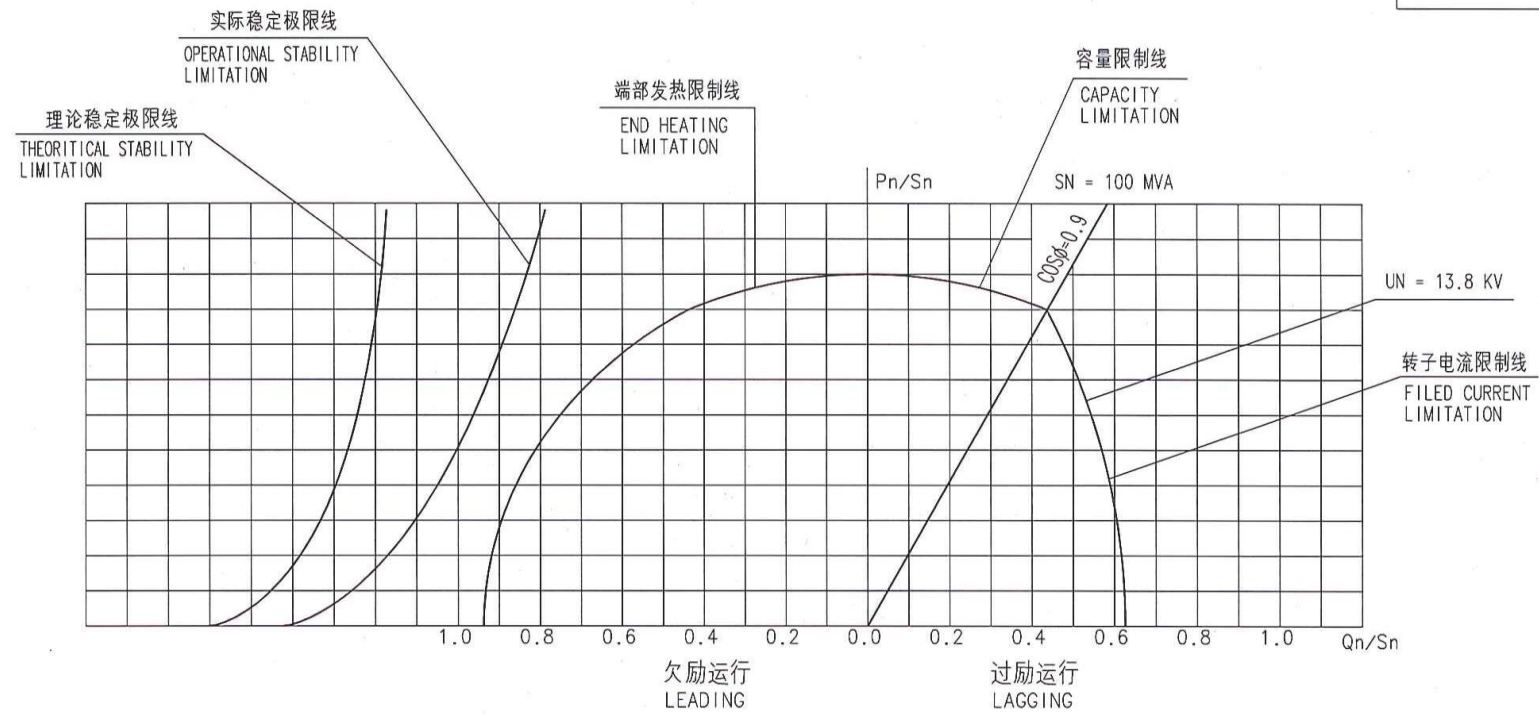
CELEC-EP ARCHIVO GENERAL

06 ABR 2017

RECIBIDO: *[Signature]* 14/30

This document contains proprietary information of Harbin Electric Machinery Co., Ltd. (HEC) and it can not be used in any way or disclosed to others without the written permission of HEC.
 该文档包含哈尔滨电机厂有限责任公司专有信息，未经许可，不得以任何方式复制或传播给第三方。

C



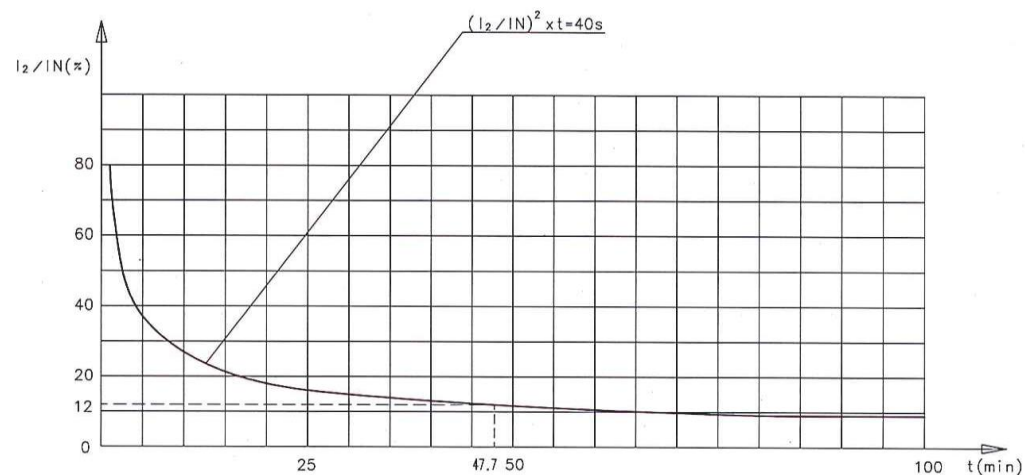
Attachment 1

改 版 区 REVISIONS	设计 PREPARED BY	日期 DATE	MINAS HYDRO GENERATOR		DWG No.		A3
	罗建华	2017.4.1					
	校核 CHECKED BY	日期 DATE					
	林雪成	2017.4.1					
	审查 REVIEWED BY	日期 DATE					
	周波	2017.4.1	功率特性曲线 POWER CHART		重量 WT(kg)		比例 SCALE
	审定 AUTHORIZED BY	日期 DATE			REV.		共 张 TOTAL
	刘钊文	2017.4.1					第 张 PAGE
材料 MATERIAL					哈尔滨电机厂有限责任公司 HARBIN ELECTRIC MACHINERY COMPANY LIMITED		

This document contains proprietary information of Harbin Electric Machinery Co., Ltd. (HEC) and it can not be used in any way by disclosed to others without the written permission of HEC.
 该文档包含哈尔滨电机厂有限责任公司商业秘密, 未经书面许可, 不得以任何方式使用或披露给第三方。

C

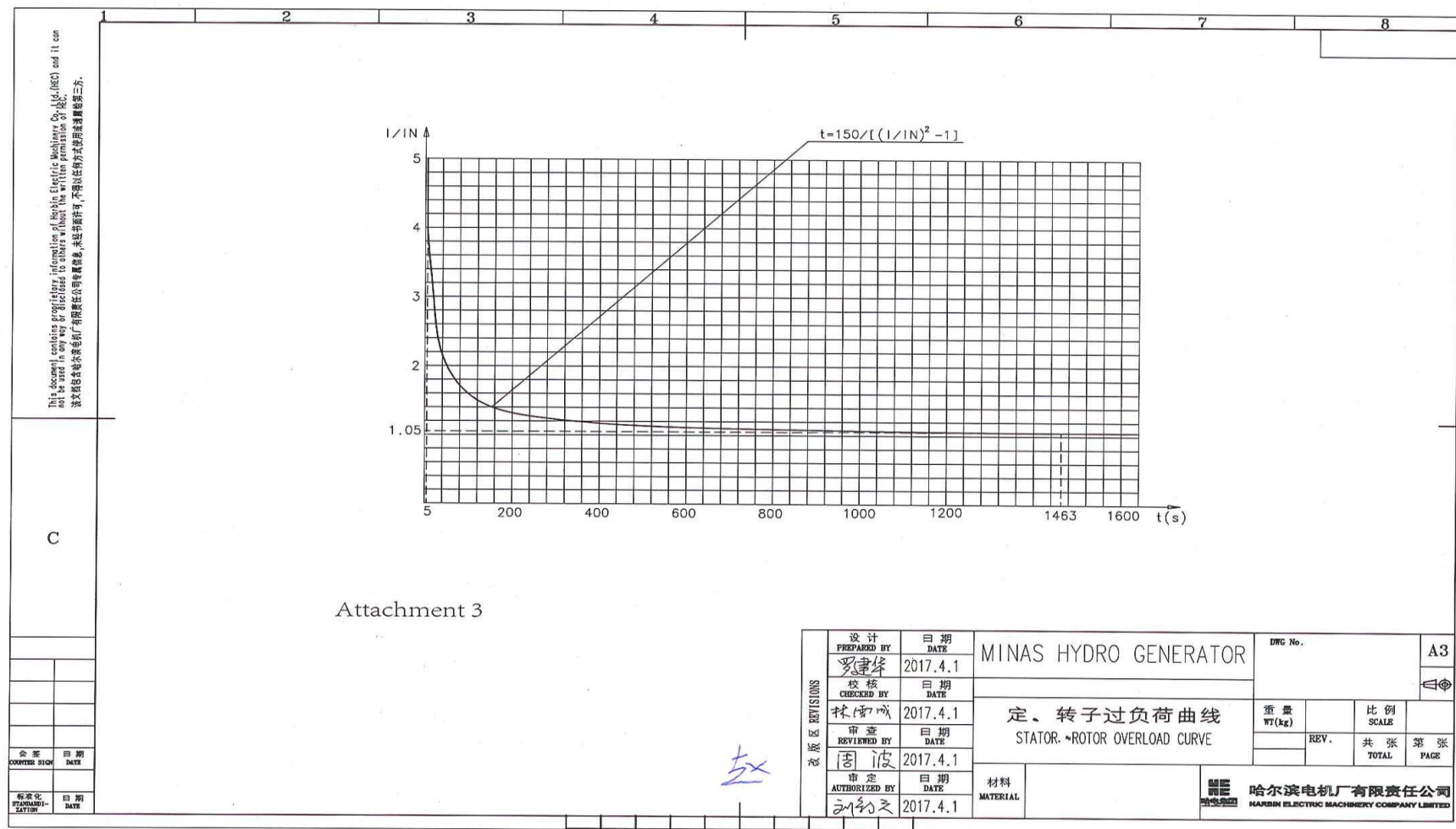
Attachment 2



会签	日期
SIGNATURE	DATE

标准化	日期
STANDARDIZATION	DATE

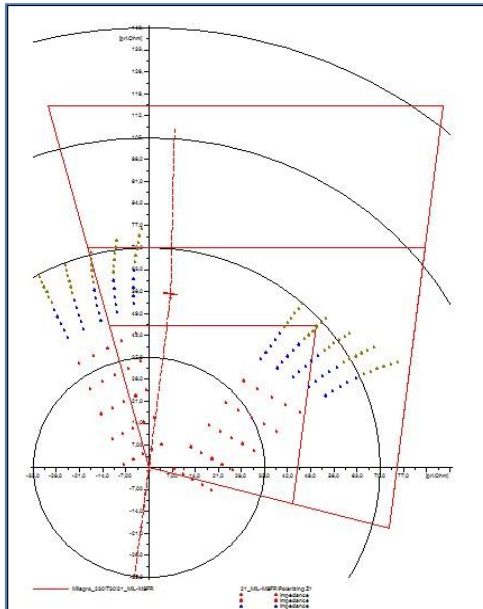
改 版 区 REVISIONS	设计 PREPARED BY	日期 DATE	MINAS HYDRO GENERATOR		DWG No.		A3	
	罗建华	2017.4.1						
	校核 CHECKED BY	日期 DATE	负序发热曲线 NEGATIVE SEQUENCE HEAT CURVE		重量 WT(kg)	比例 SCALE	共 张 TOTAL	第 张 PAGE
	林德成	2017.4.1						
审查 REVIEWED BY	日期 DATE	材料		REV.	共 张 TOTAL	第 张 PAGE		
周波	2017.4.1							
审定 AUTHORIZED BY	日期 DATE	哈尔滨电机厂有限责任公司 HARBIN ELECTRIC MACHINERY COMPANY LIMITED		REV.	共 张 TOTAL	第 张 PAGE		
刘勃文	2017.4.1							



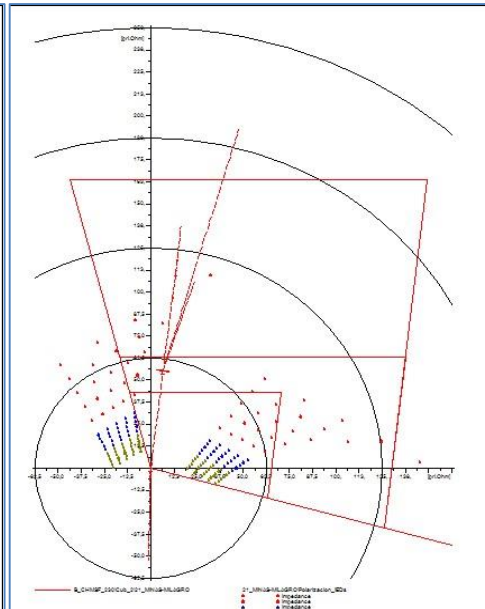
Fuente: Unidad De Negocio Celec Ep Hidrojubones.

ANEXO 8 BARRIDO CORTOCIRCUITO L/T MILAGRO – MINAS SAN FRANCISCO 230 KV En servicio las 3 Unidades de la Central Minas San Francisco

FALLA BIFASICA

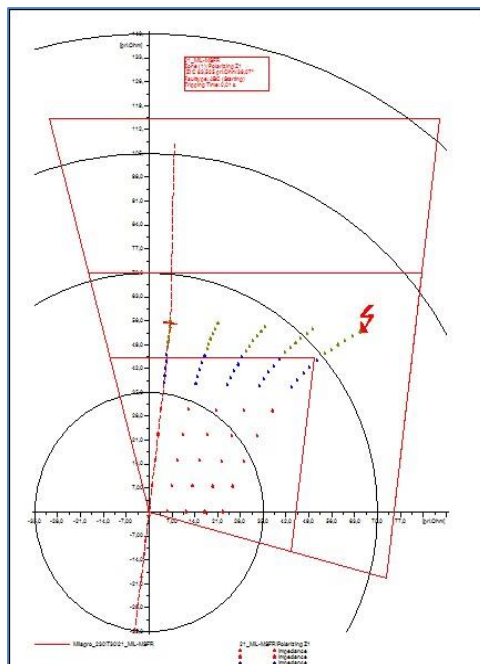


S/E MILAGRO_BAHÍA MINAS SFR

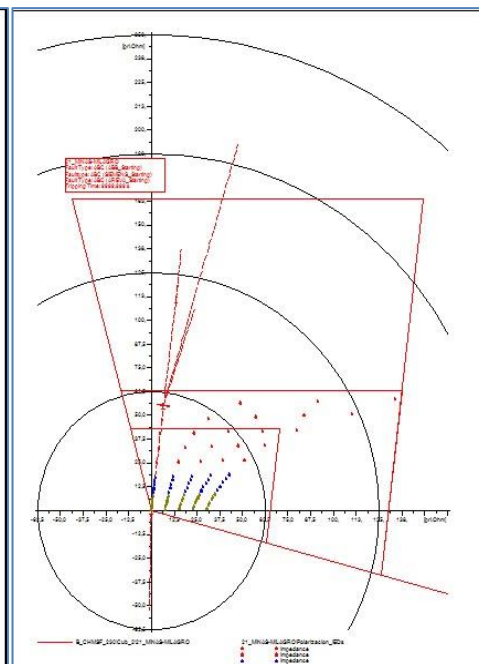


S/E MINAS SFR_BAHÍA MILAGRO

FALLA TRIFASICA

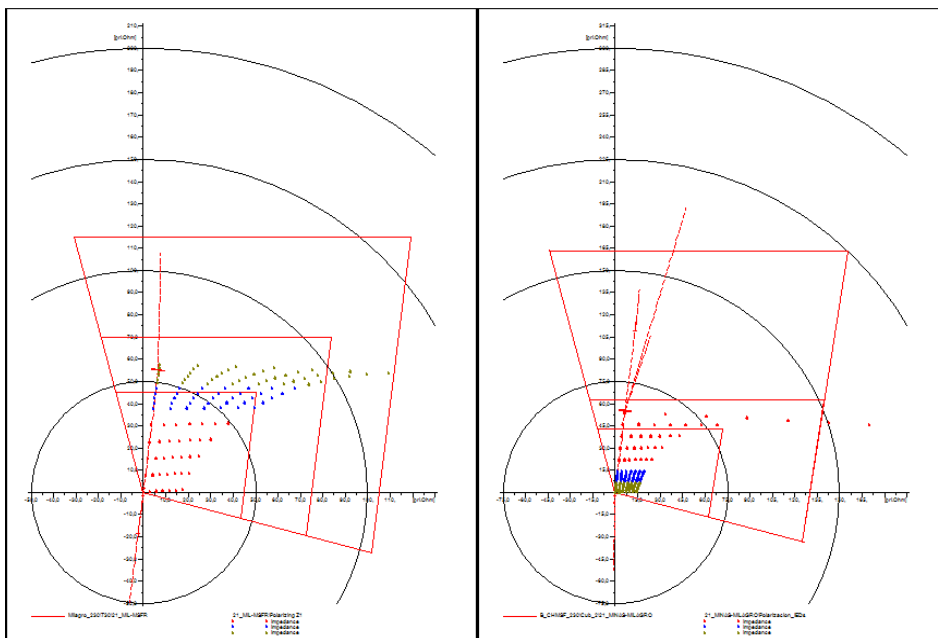


S/E MILAGRO_BAHÍA MINAS SFR



S/E MINAS SFR_BAHÍA MILAGRO

FALLA MONOFASICA

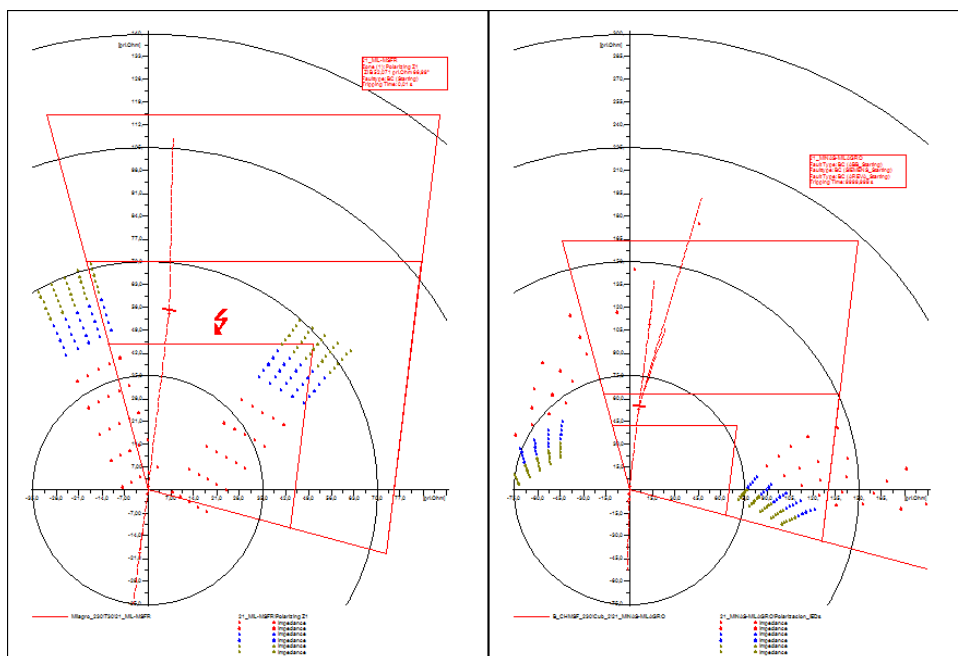


S/E MILAGRO_BAHÍA MINAS SFR

S/E MINAS SFR_BAHÍA MILAGRO

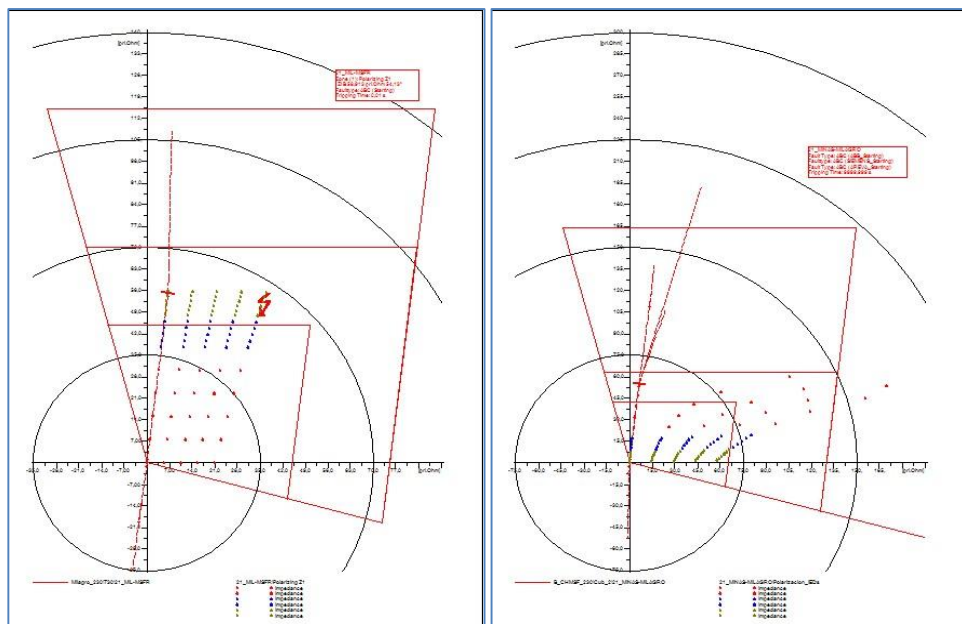
Fuera de servicio las 3 Unidades de la Central Minas San Francisco

FALLA BIFASICA



S/E MILAGRO_BAHÍA MINAS SFR

S/E MINAS SFR_BAHÍA MILAGRO

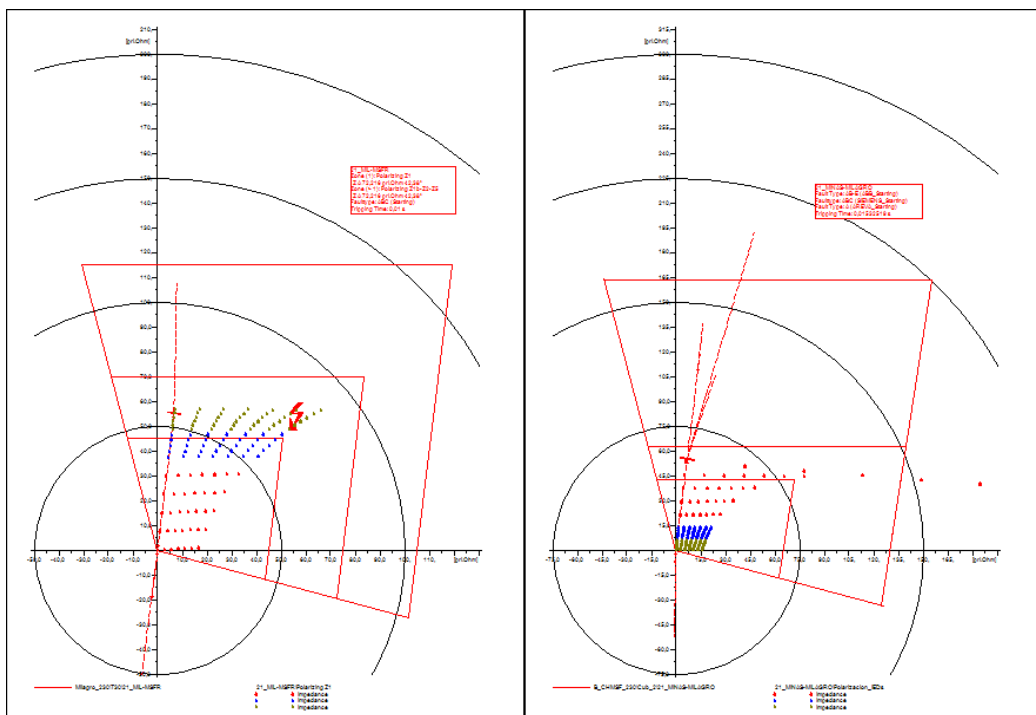


FALLA TRIFASICA

S/E MILAGRO_BAHÍA MINAS SFR

S/E MINAS SFR_BAHÍA MILAGRO

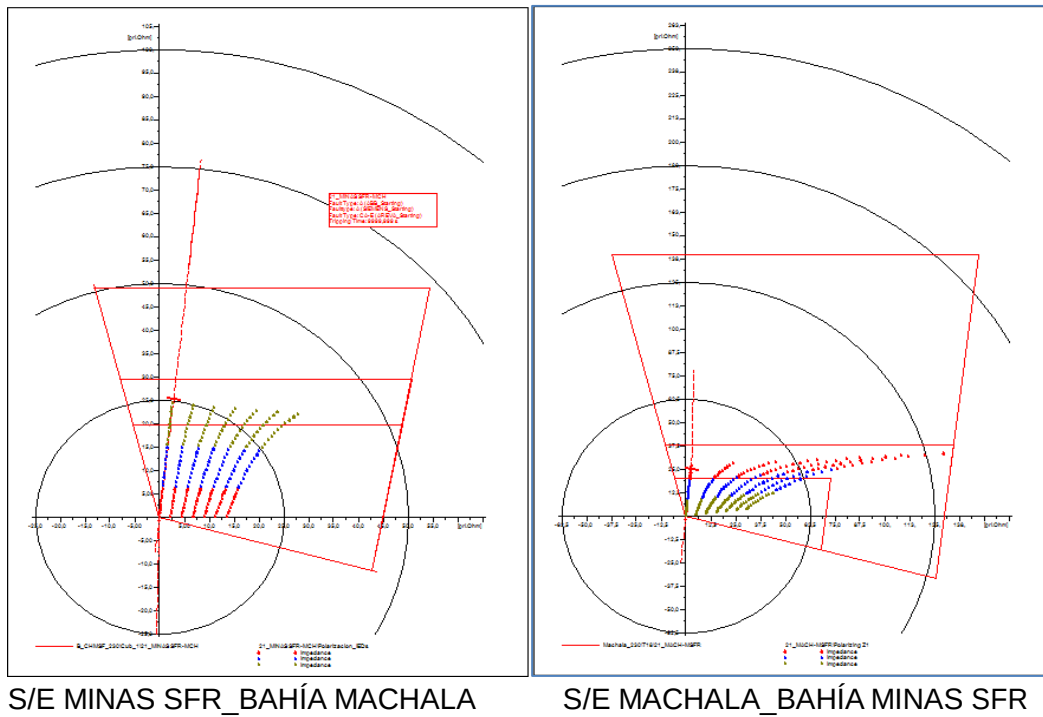
FALLA MONOFASICA



S/E MILAGRO_BAHÍA MINAS SFR

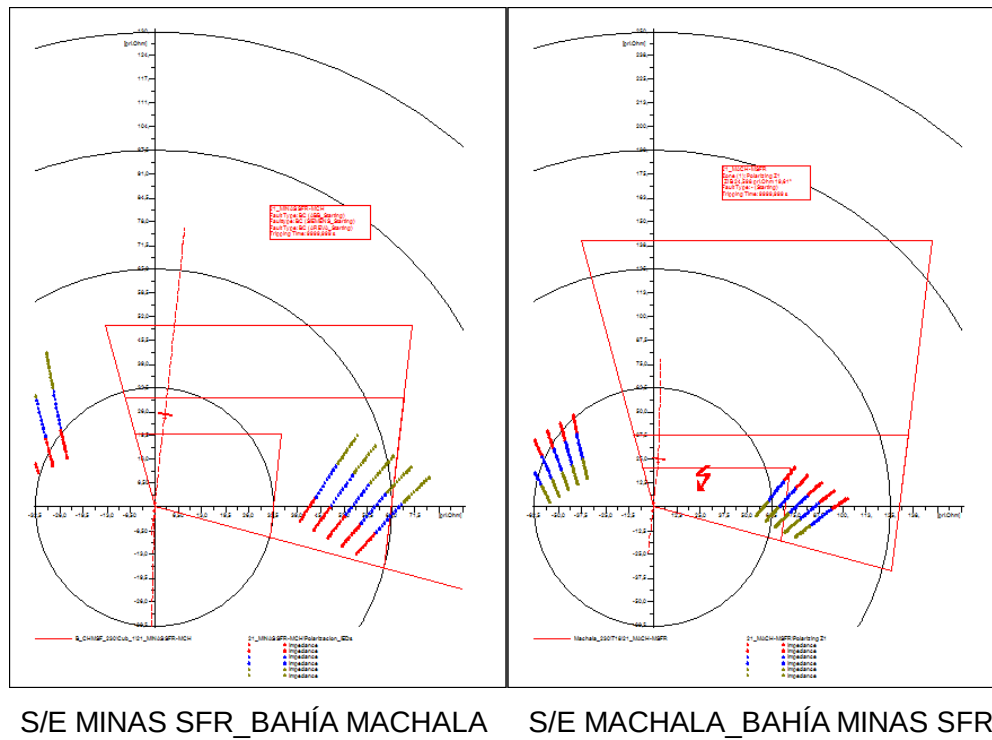
S/E MINAS SFR_BAHÍA MILAGRO

FALLA MONOFASICA

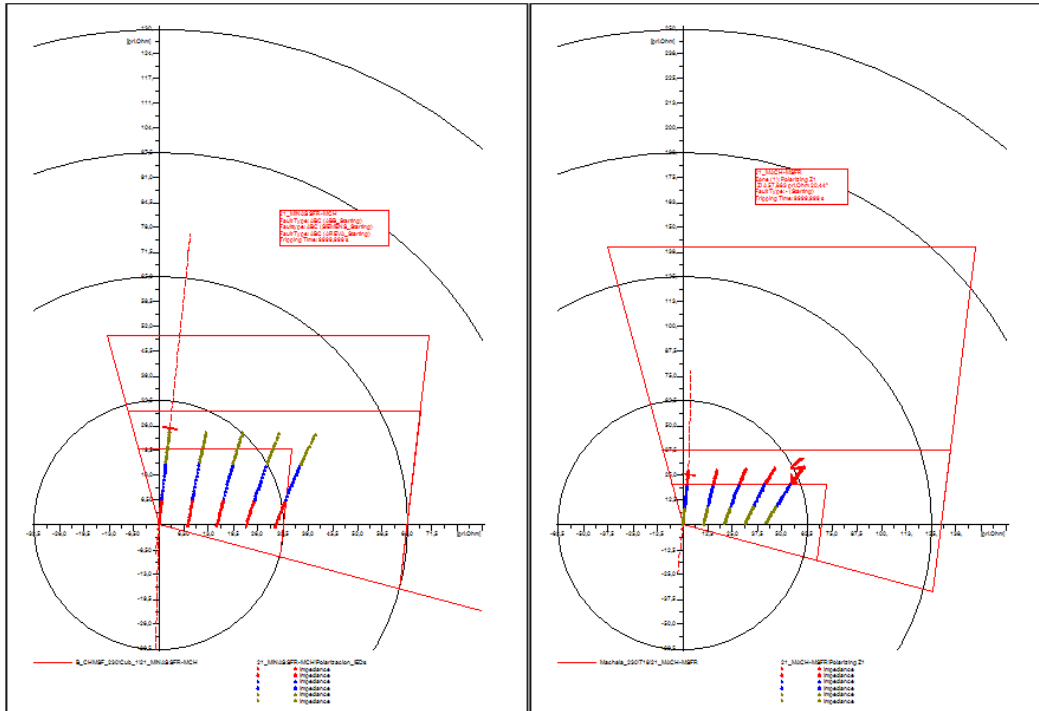


Fuera de servicio las tres Unidades de la Central Minas San Francisco.

FALLA BIFASICA



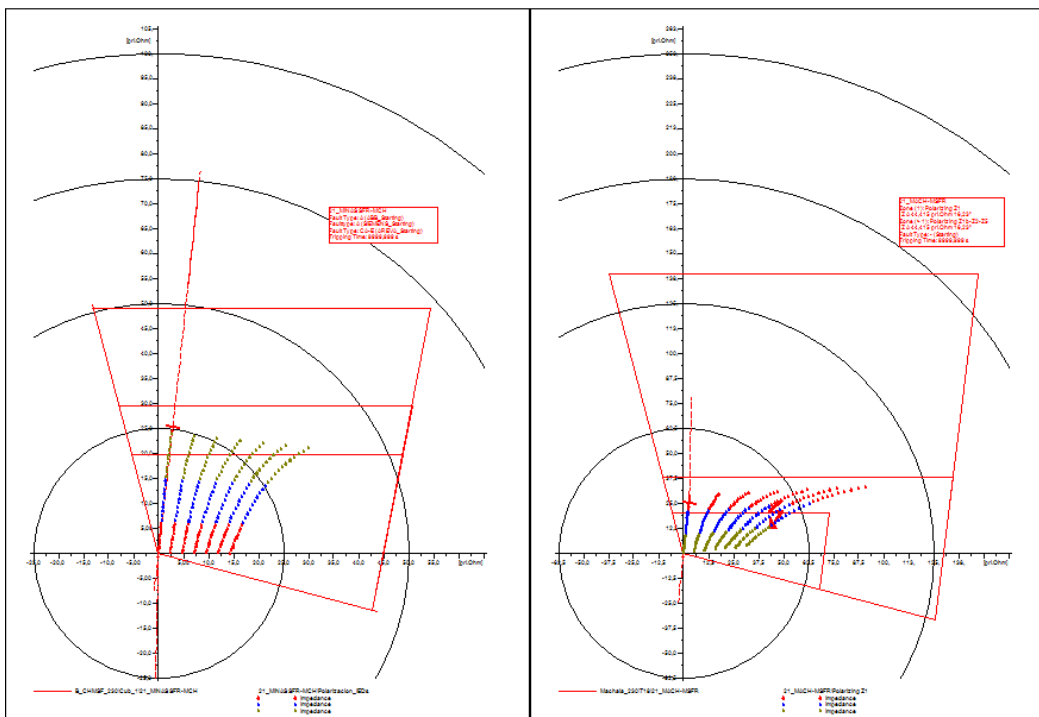
FALLA TRIFASICA



S/E MINAS SFR_BAHÍA MACHALA

S/E MACHALA_BAHÍA MINAS SFR

FALLA MONOFASICA



S/E MINAS SFR_BAHÍA MACHALA

S/E MACHALA_BAHÍA MINAS SF

