



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**INSTALACIÓN, PRUEBAS, PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE  
PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3 Y TRANSFORMADOR  
DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA**

**Adolfo Raúl Orozco Fuentes**

Asesorado por el Ing. Carlos Alberto Quijivix Racancoj

Guatemala, noviembre de 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INSTALACIÓN, PRUEBAS, PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE  
PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3 Y TRANSFORMADOR  
DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ADOLFO RAÚL OROZCO FUENTES**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ALBERTO QUIJIVIX RACANCOJ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Luis de Jesús Cuzal
EXAMINADOR	Ing. Jorge Pérez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **INSTALACIÓN, PRUEBAS, PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3 Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 1 de marzo de 2010.



**Adolfo Raúl Orozco Fuentes**



Guatemala, 8 de Marzo de 2012

Ingeniera  
Norma Ileana Sarmiento Zeceña  
Directora UNIDAD DE EPS  
Facultad de Ingeniería, USAC  
Ciudad Universitaria

Ingeniera Sarmiento:

Me es grato dirigirme a usted, para informarle que he concluido con la **ASESORIA** del trabajo de EPS denominado: "**INSTALACION, PRUEBAS, PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCION Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3 Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELECTRICA SANTA MARIA**", presentado por el estudiante **ADOLFO RAUL OROZCO FUENTES**, previo a optar el título de Ingeniero Electricista.

El contenido hace una importante aportación a la Ingeniería, debido a que en su contenido se presentan diferentes tipos de protecciones a Generadores Hidráulicos y Transformador de Potencia para una Planta Generadora Hidráulica, así como de su control automático para la operación de los sistemas de protección. En tal sentido, me permito informarle que encuentro satisfactorio el trabajo realizado y lo remito a usted para trámites respectivos de aprobación.

Finalmente, debo comunicarle que el desarrollo del trabajo y las conclusiones del mismo son responsabilidad del autor y del asesor.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,

ING. CARLOS ALBERTO QUIJIVIX RACANCO





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 64. 2013  
Guatemala, 30 de MARZO 2012.

Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
INSTALACIÓN, PRUEBAS PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA  
DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3  
Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA  
HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA, del estudiante Adolfo Raúl  
Orozco Fuentes que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Francisco Javier González López  
Coordinador Área Electrotécnica



SFO



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 17 de septiembre de 2013.  
Ref.EPS.DOC.1021.09.13.

Inga. Sigrid Alitza Calderón de León  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Calderón de León.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Adolfo Raúl Orozco Fuentes** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, con carné No. **9416599**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"INSTALACIÓN, PRUEBAS PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3 Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA"**.

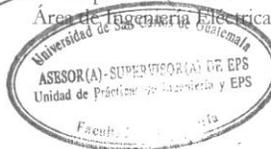
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

  
Ing. Nataaniel Jonathan Requena Gómez  
Supervisor de EPS



c.c. Archivo  
NJRG/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala 17 de septiembre de 2013.  
Ref.EPS.D.649.09.13.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Puente Romero.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"INSTALACIÓN, PRUEBAS PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3 Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Adolfo Raúl Orozco Fuentes**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Carlos Quijivix y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Juan Merck Cos  
Director Unidad de EPS

JMC/ra





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.EIME 65. 2013.

**El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; ADOLFO RAÚL OROZCO FUENTES titulado: INSTALACIÓN, PRUEBAS PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3 Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA, procede a la autorización del mismo.**

**Ing. Guillermo Antonio Puente Romero**



**GUATEMALA, 19 DE SEPTIEMBRE 2,013.**



Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.840-2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **INSTALACIÓN, PRUEBAS, PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2, Y 3 Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA**, presentado por el estudiante universitario: **Adolfo Raúl Orozco Fuentes**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, noviembre de 2013

/cc



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Con cariño y admiración.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Con cariño y admiración.
<b>Instituto Nacional de Electrificación</b>	Por su colaboración para la realización de este trabajo de graduación y por haberme forjado en el campo profesional de la ingeniería eléctrica.
<b>Ing. Carlos Alberto Quijivix Racancoj</b>	Por el asesoramiento de este trabajo, confianza, comprensión y tenacidad.
<b>Trabajadores de Planta Hidroeléctrica Santa María</b>	Por brindarme su apoyo.
<b>Mis padres</b>	Como una recompensa a todo su esfuerzo.
<b>Mis hermanos</b>	Con cariño y respeto.
<b>Todas las personas</b>	Que de una u otra forma colaboraron para llevar a feliz término mi carrera profesional.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. ANTECEDENTES DE INDE-EGGE GUATEMALA .....	1
1.1. Historia de la institución .....	1
1.2. Actividades de la institución .....	2
1.2.1. Políticas.....	3
1.2.2. Objetivos .....	4
1.2.3. Estrategias .....	4
1.3. Estructura organizacional .....	5
1.4. Misión de la institución .....	8
1.5. Visión de la institución.....	8
2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL.....	9
2.1. Sistema antiguo de protección a unidades 1, 2 y 3 y transformador de potencia.....	9
2.1.1. Unidades 1,2 y 3 (turbina, generador).....	9
2.1.1.1. Datos de placa generador 1, 2 y 3 .....	10
2.1.2. Transformador de potencia .....	11
2.1.3. Protecciones antiguas de las unidades 1, 2 y 3 (turbina, generador).....	12

2.1.4.	Protección antigua del transformador de potencia...	13
2.1.5.	Pruebas eléctricas al sistema de protección antiguo .....	14
2.1.6.	Pruebas que se realizaban al sistema de protección generador 1 .....	16
2.1.7.	Pruebas que se realizaban al sistema de protección generador 2 .....	19
2.1.8.	Pruebas que se realizaban al sistema de protección generador 3 .....	24
2.1.9.	Pruebas que se realizaban al sistema de protección transformador de potencia .....	27
3.	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN PRINCIPAL Y DE RESPALDO PARA UNIDADES 1, 2 Y 3 Y TRANSFORMADORES DE POTENCIA.....	29
3.1.	Listado de materiales y equipo a utilizar .....	29
3.1.1.	Equipo Maleta ISA .....	29
3.1.2.	Herramientas .....	31
3.1.3.	Materiales .....	32
3.1.4.	Tiempo requerido para la instalación de una protección .....	32
3.1.5.	Mantenimiento .....	33
3.2.	Transformadores de instrumento .....	33
3.3.	Montaje e instalación de transformadores de instrumento.....	34
3.3.1.	Transformadores de corriente, instalados en unidades 1, 2 y 3 de la Central Hidroeléctrica Santa María.....	35

3.3.2.	Transformadores de corriente, instalados en la salida general 2,4 kV de la Central Hidroeléctrica Santa María.....	36
3.4.	Clases de precisión para protección.....	37
3.4.1.	Clase C.....	38
3.4.2.	Clase T.....	38
3.5.	Corriente de límite térmico para transformadores de corriente utilizados para protecciones eléctricas .....	38
3.6.	Corriente de límite dinámico .....	39
3.7.	Transformadores de potencial .....	40
3.7.1.	Transformadores de potencial, instalados en unidades 1, 2 y 3 de la Central Hidroeléctrica Santa María.....	41
3.7.2.	Transformadores de potencial salida general 2,4 kV instalados en la Central Hidroeléctrica Santa María.....	42
3.7.3.	Potencia nominal secundaria de los transformadores de voltaje .....	43
3.7.4.	Carga (Burden) de los transformadores de voltaje ...	43
3.7.5.	Clase de precisión para medición .....	43
3.8.	Montaje e instalación de tableros de protección de las unidades .....	44
3.8.1.	Instalación de protección principal y respaldo de las unidades .....	47
3.8.2.	Cableado de protección principal y respaldo de las unidades .....	49
3.8.3.	Ajustes y pruebas de protección principal y respaldo de las unidades.....	59

3.8.4.	Determinación de ajustes y pruebas de protecciones.....	59
3.8.4.1.	Fallas a tierra del devanado (64G) .....	59
3.8.4.2.	Pérdida de campo (40G) .....	62
3.8.4.3.	Corriente de secuencia negativa (46 G) .....	65
3.8.4.4.	Protección sobre excitación (24G).....	75
3.8.4.5.	Protección de potencia inversa 32G .....	79
3.8.4.6.	Protección de distancia 21 .....	82
3.8.4.7.	Protección diferencial 87G.....	89
3.8.4.8.	Protección contra energización inadvertida 50/27 .....	92
3.8.4.9.	Falla de interruptor 50FI .....	95
3.8.4.10.	Bajo voltaje 27 .....	97
3.8.4.11.	Pérdida de fusible 60.....	100
3.8.4.12.	Sobretensión 59 .....	100
3.8.4.13.	Frecuencia 81 .....	104
3.8.4.14.	Sobrecorriente 51V.....	107
3.9.	Montaje e instalación de tablero de protección del transformador de potencia.....	126
3.9.1.	Protección Buchholz 63B .....	128
3.9.1.1.	Protección de sobrepresión o presión súbita 63P.....	129
3.9.1.2.	Protección térmica 49T.....	129
3.9.1.3.	Protección de bajo nivel de aceite 71T .....	130
3.9.2.	Instalación de protección principal y respaldo del transformador de potencia.....	133

3.9.3.	Cableado de protección principal y respaldo del transformador de potencia .....	136
3.9.4.	Ajuste y prueba de protección principal y respaldo del transformador de potencia .....	139
3.9.4.1.	Protección con respaldo por subcorriente 50/51 y 51N .....	139
3.9.5.	Puesta en servicio protección principal y respaldo del transformador de potencia .....	143
4.	FASE DE INVESTIGACIÓN .....	147
4.1.	Aspectos legales .....	147
4.2.	Antecedentes .....	148
4.3.	Plan de contingencia ante sismos, incendios y accidentes laborales.....	149
4.3.1.	Evaluación de riesgos.....	150
4.3.2.	Métodos de protección.....	151
4.3.2.1.	Medios técnicos .....	151
4.3.2.2.	Medios humanos.....	151
4.3.2.3.	Planos de edificación .....	152
4.4.	Descripción de funciones .....	154
4.4.1.	Funciones del responsable del Plan de Contingencia.....	154
4.4.2.	Funciones de coordinador del plan.....	154
4.4.3.	Funciones de las subcomisiones .....	154
4.5.	Plan de acción.....	155
4.5.1.	Objetivos del plan de evaluación .....	155
4.5.2.	Procedimientos de evaluación .....	156
4.6.	Factibilidad del Plan de Contingencia .....	156
4.6.1.	Costos asociados a la ejecución del plan .....	157

5.	FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE .....	159
5.1.	Normas, diagramas y capacitación .....	159
5.1.1.	Aplicación de normas técnicas.....	160
5.1.1.1.	Normas de seguridad .....	160
5.1.1.2.	Mantenimiento .....	160
5.1.1.3.	Normas complementarias.....	161
5.1.2.	Diagramas esquemáticos del alambrado, unifilares, dimensiones generales de protecciones.....	161
5.1.3.	Capacitación al personal en general, sobre la implementación del nuevo sistema de protección..	174
5.1.3.1.	Objetivos del método a utilizar.....	175
5.1.3.2.	Método de presentaciones audiovisuales.....	175
	CONCLUSIONES.....	177
	RECOMENDACIONES .....	179
	BIBLIOGRAFÍA.....	181

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Organigrama de EGEE-INDE.....	7
2.	Maleta Marca ISA.....	30
3.	CT's y PT's de salida general de la planta 2,4 kV .....	34
4.	CT's y PT's de salida de la unidad 3 .....	35
5.	Datos de placa, CT's de salida de la unidad 3.....	36
6.	Datos de placa, CT's de salida de la planta 2,4 kV .....	37
7.	Datos de placa, Pt's de salida de la unidad 3 .....	41
8.	Datos de placa, Pt's de salida de planta 2,4 kV .....	42
9.	Sala de generadores. Central Hidroeléctrica Santa María .....	44
10.	Diagrama integral de funciones incorporadas en los nuevos esquemas.....	45
11.	Vista posterior de uno de los tableros anteriores con equipo disperso .....	45
12.	Algunos de los equipos de protección anteriores.....	46
13.	Vista frontal de uno de los nuevos tableros de protección .....	46
14.	Vista lateral final de los tableros de protecciones .....	47
15.	Curva de capacidad .....	67
16.	Curva límite para operación de generadores .....	75
17.	Curva de operación de generadores.....	79
18.	Diagrama Unifilar .....	82
19.	Diagrama lógico de la función de energización inadvertida .....	92
20.	Diagrama falla de interruptor.....	96
21.	Esquema básico de protecciones .....	126

22.	Esquema básico de protecciones de un banco de transmisión .....	127
23.	Vista lateral del tablero del transformador de potencia anterior.....	132
24.	Algunos de los equipos de protección anterior .....	132
25.	Vista frontal del nuevo tablero de protección .....	133
26.	Vista lateral final de las protecciones.....	134
27.	Decreto de la creación de Ley de la Coordinadora de Reducción de Desastres.....	147
28.	Planta de Hidroeléctrica Santa María .....	153
29.	Diagramas esquemáticos del alambrado, unifilares, dimensiones generales de protecciones.....	162
30.	Unifilar del transformador de potencia .....	173

## TABLAS

I.	Características de turbina.....	9
II.	Placa de generador 1 .....	10
III.	Placa de generador 2 .....	10
IV.	Placa de generador 3 .....	11
V.	Placa del transformador de potencia .....	12
VI.	Sistema Internacional de Unidades .....	14
VII.	Cables de control, protección, medición y fuerza por generador .....	50
VIII.	Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador .....	61
IX.	Tipo de generador .....	66
X.	Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador, pérdida de campo (40G).....	69
XI.	Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador .....	77

XII.	Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador.....	80
XIII.	Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador. Protección de distancia 21 .....	86
XIV.	Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador. Protección de distancia 87 G .....	90
XV.	Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador.....	93
XVI.	Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador.....	96
XVII.	Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador, bajo voltaje 27 .....	98
XVIII.	Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador sobrevoltaje .....	102
XIX.	Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador, frecuencia 81 .....	105
XX.	Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador, sobrecorriente 51V.....	108
XXI.	Puesta en servicio de protección principal y respaldo de las unidades .....	110
XXII.	Lista de cables de control, protección, medición y fuerza .....	137
XXIII.	Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del transformador de potencia .....	141
XXIV.	Formatos de verificación de protección.....	143
XXV.	Inventario de extintores.....	155
XXVI.	Costos asociados a la ejecución del plan .....	157



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio
<b>I</b>	Corriente o intensidad
<b>FP</b>	Factor de Potencia
<b>Z</b>	Impedancia
<b>kW</b>	Kilovatio
<b>kVA</b>	Kilovolamperio
<b>kWh</b>	Kilovatio hora
<b>MVA</b>	Mega voltamperios
<b>P</b>	Potencia real o activa
<b>Q</b>	Potencia reactiva
<b>R</b>	Resistencia
<b>S</b>	Potencia aparente
<b>S</b>	Segundos
<b>T</b>	Tiempo
<b>CT's</b>	Transformadores de corriente
<b>PT's</b>	Transformadores de voltaje
<b>W</b>	Watt o vatio



## **GLOSARIO**

<b>Aislamiento</b>	Material no conductor, que se utiliza en un conductor, para separar los materiales conductores de un circuito.
<b>AMM</b>	Administrador del Mercado Mayorista
<b>Amperio</b>	Unidad que expresa el flujo de una corriente eléctrica. Un amperio es la corriente que produce una diferencia de tensión de un voltio, en una resistencia de un ohmio.
<b>ANSI</b>	American National Standards Institute.
<b>Central Hidroeléctrica</b>	Es aquella central donde se aprovecha la energía producida por la caída del agua, para mover el eje de los generadores eléctricos.
<b>CNEE</b>	Comisión Nacional de Energía Eléctrica
<b>Conductor</b>	Cable o combinación de cables adecuados, para transportar una corriente eléctrica. Los conductores pueden estar aislados o desnudos.

<b>Corriente</b>	Es el movimiento de cargas (electrones), se mide en amperios, los cuales se definen como la carga en coulombs dividido el tiempo en segundos.
<b>CT's</b>	Transformador de corriente.
<b>EGEE</b>	Empresa de Generación de Energía Eléctrica
<b>ETCEE</b>	Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica
<b>Frecuencia</b>	En sistemas de corriente alterna, velocidad a la que la corriente cambia de dirección, expresada en Hz (ciclos por segundo); medida del número de ciclos completos de una forma de onda, por unidad de tiempo.
<b>Generador</b>	Máquina electromecánica utilizada para convertir energía mecánica en energía eléctrica, por medio de la inducción electromagnética.
<b>Hz</b>	Símbolo de la unidad de frecuencia hertz.
<b>IEEE</b>	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
<b>INDE</b>	Instituto Nacional de Electricidad

<b>Potencia</b>	Es la capacidad de producir o demandar energía, por unidad de tiempo. Se mide en vatios (W); 1,000 W = 1 kW.
<b>PT's</b>	Transformador de potencia.
<b>Resistencia</b>	Oposición al flujo de corriente, expresada en ohmios.
<b>Tensión</b>	Es la capacidad para hacer circular la corriente por un conductor. Se llama comúnmente voltaje.
<b>Voltio</b>	Unidad de fuerza electromotriz. Potencial eléctrico necesario para producir un amperio de corriente, a través de una resistencia de un ohmio.
<b>Transformador</b>	Dispositivo utilizado para elevar o reducir el voltaje. Está formado por dos bobinas acopladas magnéticamente entre sí.
<b>Transformador de corriente</b>	Equipos que transforman señales de corriente en alta tensión, a valores adecuados para equipos de medición o protección.
<b>Transformador de voltaje</b>	Equipos que transforman señales de voltaje en alta tensión, a valores adecuados para equipos de medición o protección.



## **RESUMEN**

En el primer capítulo se hace una reseña histórica de la Empresa de Generación de Energía Eléctrica (EGEE), que pertenece o forma parte del Instituto Nacional de Electrificación (INDE) y las debidas funciones, mencionando la planta Hidroeléctrica Santa María, objeto del Ejercicio Profesional Supervisado.

En el segundo capítulo, se realiza una descripción de la situación de las protecciones que tenían en uso para las unidades 1, 2 y 3 (turbina y generador) y transformador de potencia, ya que era un sistema de protección electromecánico muy básico, se detallan las pruebas de ajustes de calibración de estos relés.

En el tercer capítulo, se realiza una descripción de la instalación, pruebas y puesta en servicio de un relé multifuncional principal y de respaldo, marca Beckwith, modelo M-3425A, para las unidades 1, 2, y 3 (turbina y generador) y un relé multifuncional diferencial, marca Beckwith, modelo M-3311A y un relé de respaldo, marca Beckwith, modelo M-3310, para el transformador de potencia, cuya principal función es proteger de fallas eléctricas a los equipos instalados.

En el cuarto capítulo, se realiza una descripción de los diferentes aspectos generales de la empresa, los cuales son requeridos en el Ejercicio Profesional Supervisado, realizado por los estudiantes de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

En el quinto capítulo, se presentan las normas, diagramas y capacitación, sobre el sistema de protección instalado, previo a la puesta en servicio de los tableros de protección para todo el personal a cargo, como lo son operación, mantenimiento e ingeniería y así conocer de la nueva tecnología instalada en cuanto al sistema de protección se refiere.

Se espera que el trabajo de graduación, sea de ayuda para la Empresa de Generación de Energía Eléctrica y demás instituciones o personas particulares, que ejecuten estos trabajos y necesiten un material de apoyo adicional.

# OBJETIVOS

## General

Descripción de la instalación, pruebas y puesta en servicio del sistema de protección y monitoreo de las unidades 1, 2 y 3 (turbina, generador) y transformador de potencia de la planta Hidroeléctrica Santa María, para garantizar las protecciones eléctricas de estos equipos y así reducir al mínimo, los daños que se puedan ocasionar en un futuro.

## Específicos

1. Se realizó la instalación de un sistema de protección eléctrica, que facilite la operación de la planta en caso de fallas eléctricas, para las unidades generadoras y transformador de potencia de planta Hidroeléctrica Santa María.
2. Aplicar el nuevo sistema de protección y así tener más información disponible para el análisis del personal de mantenimiento e ingeniería de la planta, sobre fallas eléctricas, que se presenten en las unidades generadoras o el transformador de potencia.
3. Ampliar el conocimiento sobre relés multifuncionales, que es una nueva tecnología aplicada a sistema de protección de generadores eléctricos y transformadores de potencia.

4. Especificar los elementos que constituyen una protección eléctrica, para una unidad generadora y un transformador de potencia.
5. Aplicar los conocimientos adquiridos en la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la rama de ingeniería eléctrica, aplicándolo a sistemas de generadores eléctricos y transformadores de potencia.

## INTRODUCCIÓN

El Ejercicio Profesional Supervisado, se realizó en las instalaciones de la planta Hidroeléctrica Santa María, la cual forma parte de la Empresa de Generación de Energía Eléctrica del INDE, es una de las principales generadoras de energía eléctrica a nivel nacional del país.

Una hidroeléctrica es un conjunto de instalaciones que tienen como objetivo principal, utilizar la energía potencial que posee el agua de un río y transformarla en energía eléctrica y que está formada por: embalse, presa, rejas filtradoras, tubería forzada, conjunto de grupos turbina-generator, turbina hidráulica, eje, generador eléctrico, transformadores y líneas de transporte de energía eléctrica.

El presente trabajo de graduación, tiene un objetivo general, presentar la importancia que tiene un sistema de protección adecuado para las unidades generadores de energía eléctrica 1, 2 y 3 (turbina y generador) y para el transformador de potencia de la Hidroeléctrica Santa María, ya que antiguamente se contaba con un sistema de protección electromecánico muy básico. Con el nuevo sistema de protecciones se pretende que sea un sistema más confiable, de operación más rápida y así evitar daños en los equipos. Este trabajo se realizó con base a estudios e investigaciones que se realizaron durante el período de duración del EPS.

El desarrollo de los países exige el incremento y la modernización en la industria. El incremento de energía eléctrica, hace necesario un sistema de protección, que cumpla con la función principal de provocar la desconexión

automática del elemento del sistema que haya sufrido una falla o un régimen anormal de operación, con el objetivo de reducir los daños de ese elemento y evitar que afecte la operación normal del resto del sistema. Una segunda función del sistema de protección es dar información al personal sobre el tipo y la localización de la falla ocurrida, con la finalidad de la rápida eliminación.

Un sistema de protección en los sistemas eléctricos, se ha definido como un arte y ciencia, ya que para la aplicación de los relevadores específicos, se requiere entender el funcionamiento del sistema eléctrico y emplear el conocimiento y la experiencia adquirida para lograr una correcta selección, ajuste y operación de los equipos de protección. En la aplicación de relevadores de protección, existen cinco aspectos básicos a considerar; debe ser confiable, seguro, sensible, simple y económico.

# **1. ANTECEDENTES DE INDE-EGGE GUATEMALA**

A continuación se da una reseña histórica de la Empresa de Generación de Energía Eléctrica, que pertenece o forma parte del Instituto Nacional de Electrificación (INDE) y las debidas funciones.

## **1.1. Historia de la institución**

El Instituto Nacional de Electrificación (INDE), fue creado el 27 de mayo de 1959, mediante el Decreto Ley 1287. El objeto de la fundación, se encaminó a dar solución pronta y eficaz a la escasez de energía eléctrica en el país, así como mantener la energía disponible, a efecto de satisfacer la demanda normal e impulsar el desarrollo de nuevas industrias, incrementar el consumo doméstico y el uso de la electricidad en las áreas rurales. Cuando el INDE se hizo cargo de la electrificación a nivel nacional, existían en el país solo 54 KW instalados y en ese entonces, se trabajaba en la construcción de la Central Hidroeléctrica Río Hondo.

Durante los 52 años de existencia, los retos afrontados y superados por el Instituto Nacional de Electrificación (INDE), le han llevado a consolidarse como una de las instituciones más eficientes de Guatemala, gracias al esfuerzo diario de un personal comprometido con el mejoramiento continuo de la entidad, logra que cada día la energía que mueve al país, llegue cada vez a más guatemaltecos.

El Instituto Nacional de Electrificación, ha sido una pieza fundamental en el desarrollo nacional, generando la energía necesaria para industrias,

empresas, comunidades y hogares; iluminando un sendero de crecimiento continuo para Guatemala.

Posteriormente y ante la situación baja de generación que había en 1961, el INDE instaló en forma emergente, mientras se desarrollaban los planes de expansión, la central diésel de San Felipe Retalhuleu, con 2,44 MW y una turbina de gas en Escuintla con una capacidad instalada de 12,5 MW en el 1965. Además en ese período, amplió la capacidad de la Central Hidroeléctrica de Santa María a 6,88 MW en 1966.

El patrimonio inicial lo constituyó una emisión de bonos de Q. 15 000 000,00, los bienes de las Centrales Hidroeléctricas Santa María y Río Hondo y los bienes del Departamento de Electrificación Nacional.

Actualmente, el INDE está regido por la Ley Orgánica, Decreto número 64-94 de fecha 7 de diciembre 1994 y reformas, la cual establece que es una entidad estatal autónoma y autofinanciable, que goza de autonomía funcional, patrimonio propio, personalidad jurídica y plena capacidad para adquirir derechos y contraer obligaciones en materia de la competencia. Posteriormente entró en vigencia el Decreto número 93-96 el 15 de noviembre de 1996, Ley General de Electricidad, la que en el artículo 7°, indica que el INDE debe separar las funciones de la actividad eléctrica en empresas de: generación, transporte, distribución y comercialización, de acuerdo como se describe en el portal del INDE: [www.inde.gob.gt](http://www.inde.gob.gt).

## **1.2. Actividades de la institución**

El Instituto Nacional de Electrificación (INDE), es una institución dedicada al proceso de energía eléctrica, dentro del subsector eléctrico, el actuar está

establecido en la Ley Orgánica del INDE y las reformas, según Decreto número. 64-94 del Congreso de la República de Guatemala. En apego a la separación de funciones y administración de las actividades de distribución, generación y transmisión de energía eléctrica del INDE, se organizó la Empresa de Generación de Energía Eléctrica (EGEE) .

El desarrollo de la planeación, obedece al cumplimiento de objetivos. programas y proyectos para cumplir con la misión de la empresa, respetando el medio ambiente, desarrollando integralmente a los empleados en Áreas de Salud, Seguridad Ocupacional y Capacitación; con la respectiva custodia, cuidado y control del equipo y la maquinaria instalada, promoviendo nuevos proyectos; garantizando dar cumplimiento a los compromisos contractuales adquiridos, bajo un esquema de principios y valores que garantizan la transparencia y responsabilidad de los procesos reflejando financieramente lo antes descrito en el presupuesto a ejecutar, durante el 2010. El cual podrá medirse a través de indicadores de desempeño con un seguimiento periódico, de acuerdo como se describe en el portal del INDE: [www.inde.gob.gt](http://www.inde.gob.gt).

### **1.2.1. Políticas**

- Garantizar la satisfacción de las relaciones contractuales
- Asegurar el menor tiempo posible de respuesta, en la entrega y calidad de potencia, energía, proyectos y servicios para los clientes internos/externos.
- Consolidar la eficiencia de costos de la calidad, en la producción de energía eléctrica y a las diferentes actividades que se generan en EGEE.
- Desarrollar y mantener la competencia del talento humano
- Medir y controlar el desempeño de la gestión

- Implementar y asegurar el plan estratégico de INDE/EGEE. (Área Administrativa, Mantenimiento, Operativa, SSMA), para el cumplimiento de la misión y visión de EGEE.
- Garantizar el buen funcionamiento de la gestión operativa, administrativa y cuidado de la salud, seguridad y medio ambiente, en las instalaciones de EGEE y evitar daños a terceros (demandas). De acuerdo como se describe en el portal del INDE: [www.inde.gob.gt](http://www.inde.gob.gt).

### **1.2.2. Objetivos**

- Generar energía eléctrica y proveer servicios complementarios, para mejorar la rentabilidad de la empresa.
- Consolidar la imagen institucional en los clientes y en la comunidad. Es necesario que la empresa fortalezca la imagen corporativa, como una organización con excelencia en la calidad del servicio eléctrico, consolidando los canales de comunicación, para lograr un mayor acercamiento con el cliente y con la opinión pública.
- Mejorar la gestión, aplicación de los procesos y recursos disponibles para la empresa. Aprovechar las oportunidades y optimizar los recursos con que dispone la empresa, para obtener mejores y mayores resultados.
- Fortalecer el desarrollo del personal y de la organización. Es primordial en EGEE desarrollar una nueva cultura organizacional, para fortalecer las competencias y habilidades del personal, mejorando los medios de comunicación, para lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos. De acuerdo como se describe en el portal del INDE: [www.inde.gob.gt](http://www.inde.gob.gt).

### **1.2.3. Estrategias**

Eficiencia de la producción: generar electricidad, operando y manteniendo la maquinaria y equipo en óptimas condiciones y el apoyo continuo, en procesos eficientes para entregar un producto de calidad.

Eficiencia de la organización: esta actividad permite a la empresa y a cada frente de trabajo, tener conocimiento de donde se está y hacia dónde va, con el fin único de alcanzar los objetivos trazados como Empresa de Generación de Energía Eléctrica, a través de la implementación de valores, políticas y trabajo en equipo.

Mejorar la competitividad: a través de la innovación tecnológica, la gestión de mantenimientos, competencia del personal y ambiente laboral, se puede estar al nivel o superar a los competidores, que actualmente se encuentran en el mercado y ser catalogados como una empresa líder en la industria de generación de energía eléctrica.

De acuerdo como se describe en el portal del INDE: [www.inde.gob.gt](http://www.inde.gob.gt)

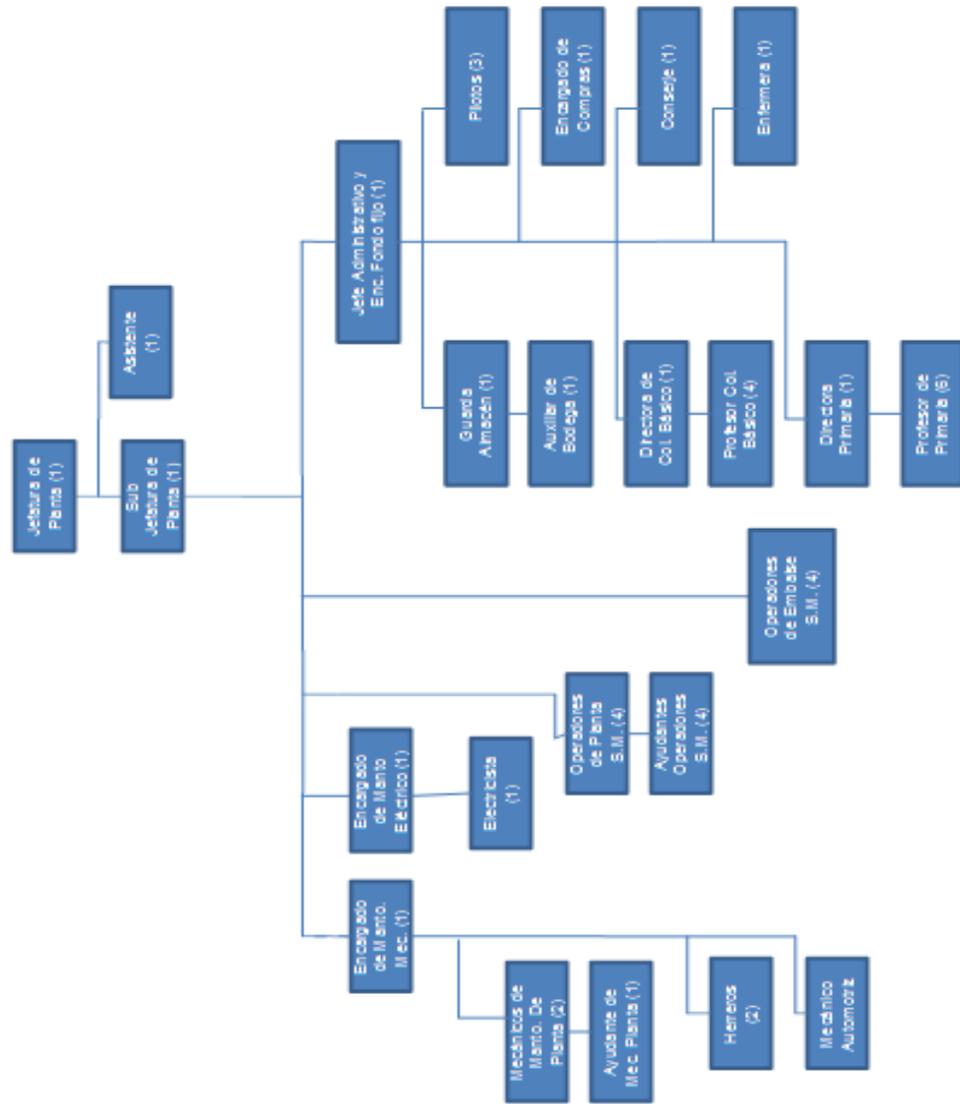
### **1.3. Estructura organizacional**

Organización del INDE: el órgano superior de la administración del INDE, es el Consejo Directivo, el cual está integrado por representantes del Ministerio de Energía y Minas, el Ministerio de Economía, la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, la Asociación Nacional de Municipalidades, la Cámara de Asociaciones Empresariales y Asociaciones y/o Sindicatos de los Trabajadores de todo el país. La Gerencia General es la encargada de la

ejecución de las instrucciones y directrices emanadas del consejo directivo, además debe llevar a cabo la administración y gobierno de la institución.

- Consejo Directivo: dictamina las directrices a seguir en la institución, tanto interna como externamente.
- Gerencia General: está encargada de la ejecución de las directrices y políticas emanadas del consejo directivo, además de llevar la administración y gobierno de la institución.
- Gerencia de Generación: es la encargada de operar las centrales, plantas y unidades de generación para comercializar energía eléctrica en el mercado eléctrico nacional y regional.
- Gerencia de Transporte de Energía Eléctrica: presta el servicio de transporte de electricidad, en forma continua y eficiente entre los productos y consumidores de la misma.
- Gerencia de Servicios Corporativos: es la encargada de dirigir los lineamientos administrativos internos.
- Gerencia de Electrificación Rural y Obras: elabora planes de electrificación rural, de acuerdo a las políticas dictadas por el Estado de Guatemala, a través del Ministerio de Energía y Minas al INDE.
- Gerencia Financiera: maneja y controla ingresos y egresos de la institución.
- Asesoría Jurídica: como el nombre lo indica, asesora jurídicamente a la institución. De acuerdo como se describe en el portal del INDE: [www.inde.gob.gt](http://www.inde.gob.gt).

# ORGANIGRAMA DE PLANTA HIDROELÉCTRICA DE OCCIDENTE



Fuente: jefatura planta Central Hidroeléctrica Santa María.

#### **1.4. Misión de la institución**

“Contribuir al desarrollo del mercado eléctrico nacional y regional, a través de la producción, transporte y comercialización de electricidad, permitiendo como empresa nacional, cumplir con la función social, incrementar la electrificación rural, suministrar un servicio eficiente y de calidad, desarrollar el recurso humano y procurar la disponibilidad de electricidad, para el progreso de Guatemala.”

#### **1.5. Visión de la institución**

“Ser la empresa eléctrica nacional, líder e impulsora del desarrollo del mercado eléctrico nacional y regional, cumpliendo con estándares de calidad mundial, a través de la actualización tecnológica del recurso humano.”

## 2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

### 2.1. Sistema antiguo de protección a unidades 1, 2 y 3 y transformador de potencia

Las características del sistema de protección se detallan a continuación.

#### 2.1.1. Unidades 1, 2 y 3 (turbina, generador)

La Central Hidroeléctrica Santa María, cuenta actualmente con 3 turbinas, se toman datos de una turbina, ya que las otras no son legibles.

Tabla I. Características de turbinas

Fabricante	Turbina 1 y 2: Fritz neumeyer Turbina 3: Voith
Turbina tipo	Francis de eje horizontal
Número de unidades	tres
Año de puesta en operación	1,927 y 1,954
Velocidad nominal	720 rpm
Velocidad máxima	1295 rpm
Caudal de diseño por unidad	G.1 = G.2 = 2.35 G.3 = 2.42 m <sup>3</sup> /s
Cota eje turbina	1432.87 m s.n.m.
Nivel de desfogue	1426.37 m s.n.m.
Caída bruta	104 m
Caída neta	101 m
Potencia por turbina	2000 kW

Fuente: equipo, Central Hidroeléctrica Santa María.

### 2.1.1.1. Datos de placa generador 1, 2 y 3

Los datos se describen en las tablas que a continuación se encuentran:

Tabla II. **Placa del generador 1**

Fabricante	SCHORCH
Tipo	W 7236 / 10
ID Especial	Generador unidad No.1
Número de serie	M 59031401 / 1
Stator Kv	2.3
Kva	3,100
Stator Amps.	778
Class Insulation	A / B
% Power factor	0.8
Phases	3
Excitación Volts.	52
Excitación Amps.	415
Fecha de prueba	23 de marzo 2010

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Placa del generador 2**

Fabricante	A. VAN KAICK
Tipo	DI DB 160GH / 10D
ID Especial	Generador unidad No.2
Número de serie	8720556
Stator kV	2.3
Kva	2,750
Stator Amps.	690
Class Insulation	F
% Power factor	0.8
Phases	3
Excitación Volts.	80
Excitación Amps.	
Fecha de prueba	24 de marzo 2010

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Placa del generador 3**

Fabricante	AEG
Tipo	S 7067 / 10
ID Especial	Generador unidad No.3
Número de serie	252 / 775
Stator kV	2.3
Kva	2,750
Stator Amps.	690
Class Insulation	F
% Power factor	0.8
Phases	3
Excitación Volts.	115
Excitación Amps.	222
Fecha de prueba	24 de marzo 2010

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.2. Transformador de potencia**

La Central Hidroeléctrica Santa María, cuenta actualmente con un transformador de potencia, situado en la subestación Santa María, con las siguientes características:

#### **2.1.2.1. Datos de placa transformador de potencia**

En la siguiente tabla se encuentran los datos correspondientes a la placa del transformador de potencia.

Tabla V. **Placa del transformador de potencia**

Fabricante	PAUWELS TRAF0
No. Serie:	88.2.4007
Año de fabricación:	1988
Potencia:	10 / 14 MVA
Circuito designado:	Transformador Unidad No.3
Grupo de conexión:	Ydn1
Tipo de enfriamiento:	OA
Aislante:	Aceite mineral
Número de taps:	5 (devanado H.V.)
High voltaje	
Número de tap:	Voltaje primario (Volts.)
1 (Tap de operación)	72,450
V	70,725
3	69,000
4	67,275
5	65,550
Low voltaje	2,400
Voltaje nominal:	69,000 / 2,400 volts
Frecuencia:	60 Hz
Número de fases:	3
Impedancia:	7.38 %
BIL:	AT 350, BT 60
Volumen de aceite:	5.6 t
Peso total:	26 t

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.3. Protecciones antiguas de las unidades 1, 2 y 3 (turbina, generador)**

La planta Central Hidroeléctrica Santa María cuenta, actualmente con 3 unidades (turbina, generador), con un sistema de protección electromecánico muy básico, la unidad 1, contaba con las protecciones diferencial, sobre voltaje y sobre corriente, marca AEG, en la unidad 2, con las protecciones diferencial, voltaje, sobre corriente, potencia inversa y estator a tierra, marca CEG y en la

unidad 3, solo contaba con las protecciones diferencial y sobre corriente, marca AEG, estos son sistemas de protección muy tardío, en la actualidad 80 milisegundos lo cual puede ser un tiempo largo en el que se puede dañar alguna máquina, en la actualidad los equipos de protección multifuncional, tienen un tiempo de respuesta de 30 y 50 milisegundos, además estas unidades operan desde 1927 (unidades 1 y 2) y desde 1954 (unidad 3).

#### **2.1.4. Protección antigua del transformador de potencia**

El transformador es un elemento muy importante y costoso dentro del sistema de potencia, este se encuentra en todos los niveles de tensión. El diseño de los esquemas de protección de transformadores, es un tema bastante amplio y toma en cuenta aspectos propios del equipo como son: tensión, tipo, conexión y aplicación, así como el principio de detección de fallas eléctricas, mecánicas y térmicas.

El actual transformador, cuenta con un sistema de protección electromecánico muy básico y no cumple con lo mínimo. El relé que se utilizaba para la protección del transformador de potencia de la Central Hidroeléctrica Santa María, era de tecnología electromecánica, el cual en tiempo de operación es demasiado largo para la protección del transformador.

La protección diferencial que utilizaba el transformador, era por medio de un relé de protección diferencial, tipo electromecánico, marca BBC (Brown Boveri Company), el tipo era D202.

Los ajustes eran:           V % 20 (pendiente 1 con el límite de operación)  
  G % 20 (pendiente 2 con el límite de operación)

En el lado de alta tensión del transformador 69 kV, utilizaba relés de sobrecorriente marca GE y un relé de sobrecorriente neutro del transformador 51N marca GE.

### 2.1.5. Pruebas eléctricas al sistema de protección antiguo

Para hacer las pruebas de ajuste de calibración del sistema de protección, se utilizaba una maleta marca Programm Products, modelo Sverker 750, que tiene una serie de funciones, que agilizan la comprobación de relés, tales como una potente sección de medida que, además del tiempo, la tensión y la intensidad, puede presentar también Z, R, X, S, P, Q, el ángulo de fase y el  $\cos \varnothing$ , en una representación digital de fácil lectura.

Diseñado para la prueba secundaria de relés de protección. Se puede probar en todo tipo de protección monofásica. También se puede usar para protección trifásica, que permita comprobar las fases una a una. El sistema utilizado para la realizar las pruebas de calibración es el Sistema Internacional de Unidades, por lo cual se utiliza corriente en amperio, voltaje en voltio y tiempo en segundos.

Tabla VI. Sistema internacional de unidades

Magnitud física básica	Símbolo dimensional	Unidad básica	Símbolo de la unidad
Tiempo	T	segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica	I	Amperio	A
Diferencia de potencial	V	Voltio	V

Fuente: [www.sistemainternacionaldeunidades.com](http://www.sistemainternacionaldeunidades.com). Consulta: noviembre de 2012.

Trazabilidad metrológica: la metrología es la ciencia de la medición, incluye todos los aspectos teóricos y prácticos relacionados con la medición y la incertidumbre, en cualquier campo de la ciencia y de la tecnología. Dentro de la metrología la trazabilidad ocupa un lugar central. Se trata de la propiedad del resultado de una medición o del valor de un calibrador, de tal manera que pueda ser relacionada con referencias determinadas, generalmente patrones nacionales e internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones, teniendo todas las incertidumbres determinadas.

Con base en lo anterior, se tiene la siguiente información de la maleta que influye en la trazabilidad de las pruebas realizadas a los relés de protección.

- Temporizador

Opciones de presentación digital: en segundos o en períodos de tensión de red.

Segundos: Escala: 0,000 – 99999,9 s. Precisión: 1 ms.

Períodos: Escala 0,0 - 4999995 ciclos a 50 Hz o 0,0 - 5999994 ciclos a 60 Hz. Precisión: 0,1 ciclos.

Tensión máxima de entrada: 250 V CA.

- Amperímetro

Escalas: 0,00 – 250,0 A, escala interna, 0.000 – 6,000 A, escala externa.

Precisión: 1 %, escala interna, 1 % escala externa, para CA y 0,5 % para CC

Método de medida: Valor efectivo RMS para CA o medio para CC

Corriente máxima de entrada: 6 A (CA o CC)

- Voltímetro

Escalas: 0,00 – 600,0 V.

Precisión: 1 %, para CA y 0,5 % para CC

Intensidad externa máxima conectable: 600 V CA o CC

Método de medida: valor efectivo RMS para CA o medio para CC

Corriente máxima de entrada: 600 V CA o CC.

Se indica por medio de la unidad de protección de generación que la maleta Sverker 750, es llevada cada tres años a calibrarse con el patrón de referencia de la maleta, ubicada en la casa matriz en Suecia.

#### **2.1.6. Pruebas que se realizaban al sistema de protección generador 1**

Dentro de las pruebas que se realizaban al sistema de protección se detallan las siguientes:

- Prueba sobre corriente

Datos:

Relé de sobre corriente	51-G1
Marca	AEG
Modelo	RSZ3y

Ajustes:

Fase	R	S	T
------	---	---	---

Tap	4	4	4
Tiempo	3,8 s	3,8 s	3,8 s

Pruebas:

Fase R		Fase S		Fase T	
I Prueba	Tiempo	I Prueba	Tiempo	I Prueba	Tiempo
4,04 A	4,005 s	4,09 A	3,951 s		
5,01 A	3,870 s	5,07 A	3,875 s		
6,03 A	3,821 s	6,05 A	3,896 s		
7,00 A	3,809 s	7,01 A	3,972 s		
8,00 A	3,809 s	8,08 A	3,948 s		
9,08 A	3,815 s	9,01 A	3,977 s		

Nota:

La fase T no acciona el relé, el mecanismo móvil de tiempo, no se acciona, por lo cual el relé no opera. Por lo tanto este relé solo está protegiendo la fase R y S del generador 1, contra sobrecorrientes.

- Prueba sobre voltaje

Datos:

Marca = AEG

Modelo = RU2SM

Pruebas:

Nota: este relé no opera el mecanismo de accionamiento, está dañado.

- Prueba protección diferencial

Datos:

Relé diferencial 87-G1  
 Marca AEG  
 Modelo RQG4

Ajustes:

Fase	R	S	T
Tap	4	4	4
Tiempo	3,8 s	3,8 s	3,8 s

Pruebas:

		Fase R	
I (+1, -13)	Tiempo	I (+4 -13)	Tiempo
2,05 A	0,744 s	2,06 A	0,786 s
3,05 A	0,108 s	3,04 A	0,096 s
4,00 A	0,066 s	4,06 A	0,065 s

		Fase S	
I (+2, -13)	Tiempo	I (+5 -13)	Tiempo
2,07 A	0,581 s	2,06 A	0,698 s
3,05 A	0,105 s	3,03 A	0,094 s
4,00 A	0,065 s	4,01 A	0,065 s

		Fase T	
I (+3, -13)	Tiempo	I (+6 -13)	Tiempo
2,05 A	0,582 s	2,05 A	0,599 s
3,06 A	0,090 s	3,00 A	0,091 s
4,01 A	0,065 s	4,00 A	0,065 s

Procedimiento:

Borneras:

I Fase R	+1, +4, -13
I Fase S	+2, +5, -13
I Fase T	+3, +6, -13
Disparo	+31, -32
25 DC	+22, -24

Se le aplica corriente en las borneras descritas y se toma el tiempo de operación para encontrar la corriente diferencial, después se le aplican diferentes corrientes y se verifica el tiempo.

### **2.1.7. Pruebas que se realizaban al sistema de protección generador 2**

Las pruebas que se realizaban al sistema de protección se definen a continuación.

- Prueba protección de voltaje

Datos:

Relé de sobre voltaje	A5
Marca	AEG
Modelo	WK3

Ajustes:

Voltaje	110
---------	-----

Pruebas:

Se aplicó voltajes a las borneras L1 y L3 y se comprobó el disparo y alarmas.

Voltaje	Operación
160	Disparo de sobre voltaje

Datos:

Relé de bajo voltaje	A6
Marca	AEG
Modelo	WK3

Ajustes:

Voltaje	82
---------	----

Pruebas:

Se aplicó voltajes a las borneras L1, L2 y L3 y se comprobó el disparo.  
Voltaje 70

Prueba pendiente porque necesita los tres voltajes

Se le aplica voltaje en las borneras descritas y se comprueba el disparo del relé. Pero se necesitan los 3 voltajes. No se realizó prueba.

- Prueba sobre corriente

Datos:

Relé de sobre corriente	E1
Marca	AEG
Modelo	IWÜ-2-3

Ajustes:

IA	5 A
IB	5 A
IC	5 A
Seit/sek	5 A

Pruebas:

Se aplicó corriente en las borneras Z1 y Z3 y se comprobó el disparo. La corriente se aplicó en la parte de abajo en la entrada principal a las borneras.

Corriente	Operación
5.34 A	Disparo de sobrecarga en el tablero de alarmas.

Datos:

Relé de sobre corriente	E2
Marca	AEG
Modelo	IWK-2-3

Ajustes:

IA	10 A
IB	10 A
IC	10 A
Seit/sek	0,1 A

Pruebas:

Se aplicó corriente en las borneras Z2 y Z3 y se comprobó el disparo.

Corriente	10,04
Corriente	12,50

Disparo de sobrecarga y cortocircuito en el tablero de alarmas. Si disparo y envío disparo de alarmas.

- Prueba protección diferencial

Datos:

Diferencial	E3
Marca	AEG
Modelo	DIF/G1 m/d24

Ajustes:

Jn	5 A.
U	110 V GS
JA %	20

Pruebas:

Fase R			
I +1,-2	Tiempo	I +7,-8	Tiempo
1,00 A	0,268 s	1,00 A	0,289 s
2,06 A	0,055 s	2,00 A	0,059 s

Fase S			
I +3,-4	Tiempo	I +9,-10	Tiempo
1,01 A	0,287 s	1,01 A	0,292 s
2,00 A	0,061 s	2,00 A	0,061 s

Fase T			
I +5,-6	Tiempo	11 +,12	Tiempo
1,00 A	0,300 s	1,01 A	0,308 s
2,04 A	0,058 s	2,02 A	0,059 s

Borneras:

I R	+1, -2	I R'	+7, -8
I S	+3, -4	I S'	+9, -10
I T	+5, -6	I T'	+11, -12
Disparo	15, 16	V DC	+22, -23

- Prueba estator a tierra

Datos:

Diferencial	E2
Marca	AEG
Modelo	IWE

Ajustes:

Corriente	0,8
Tiempo	6 S

Pruebas:

Corriente	TIEMPO
0,35	INS
0,37	INS

Borneras:

Corriente	+b, -7
V dc	+a, -5
Disparo	+4, -12

Procedimiento:

Se aplica corriente en las borneras descritas y se comprueba el disparo.

### **2.1.8. Pruebas que se realizaban al sistema de protección generador 3**

Las pruebas que a continuación se detallan eran las que con anterior se aplicaban al sistema.

- Prueba sobre corriente

Datos:

Relé sobre corriente	51-G3
Marca	AEG
Modelo	RSZ3y

Ajustes:

Fase	R	S	T
Tap	3,9	3,9	3,9
Tiempo	3,5 s	3,5 s	3,5 s

Pruebas:

Fase R		Fase S		Fase T	
I Prueba	Tiempo	I Prueba	Tiempo	I Prueba	Tiempo
3,89 A	3,655 s	3,97 A	3,692 s	3,90 A	No disparó
4,11 A	3,842 s	4,08 A	3,742 s	4,08 A	2,742 s
5,05 A	3,824 s	5,04 A	3,652 s	5,04 A	3,627 s
6,09 A	3,656 s	6,06 A	3,633 s	6,05 A	3,600 s
7,08 A	3,652 s	7,07 A	3,645 s	7,05 A	3,604 s
8,09 A	3,650 s	8,04 A	3,624 s	8,01 A	3,596 s
9,03 A	3,647 s	9,07 A	3,616 s	9,08 A	3,613 s

Procedimiento:

Borneras:

I Fase R	+1, -4
I Fase S	+2, -5
I Fase T	+3, -6
Disparo	+15, -16
Voltaje 25dc	+7, -8

Se le aplica corriente en las borneras descritas y se toma el tiempo de operación después se le aplican diferentes corrientes y se verifica el tiempo de accionamiento del relé.

- Prueba protección diferencial

Datos:

Relé protección diferencial	87-G3
Marca	AEG
Tipo	QS4

Ajustes:

Fase	51R	51S	51T
Tap	1,5 A	1,5 A	1,5 A

Pruebas:

Fase R			
I (+1, -7)	Tiempo	I (+4 -7)	Tiempo
1,65 A	1,845 s	1,65 A	0,533 s
2,09 A	0,149 s	2,07 A	0,140 s
2,55 A	0,096 s	2,50 A	0,093 s
3,07 A	0,075 s	3,06 A	0,074 s

Fase S			
I (+2, -8)	Tiempo	I (+5 -8)	Tiempo
1,51 A	0,588 s	1,51 A	0,887 s
2,06 A	0,138 s	2,11 A	0,138 s
2,51 A	0,100 s	2,50 A	0,107 s
3,10 A	0,082 s	3,07 A	0,082 s

Fase T			
I (+3, -9)	Tiempo	I (+6, -9)	Tiempo
1,61 A	1,697 s	1,62 A	1,201 s
2,09 A	0,150 s	2,03 A	0,155 s
2,54 A	0,107 s	2,50 A	0,104 s

3,09 A            0,082 s            3,09 A            0,81 s

Procedimiento:

Borneras:

I Fase R	+1, +4, -7
I Fase S	+2, +5, -8
I Fase T	+3, +6, -9
Disparo	+23, -24

Se le aplica corriente en las borneras descritas, y se toma el tiempo de operación para encontrar la corriente diferencial, después se le aplican diferentes corrientes y se verifica el tiempo de operación del relé.

### **2.1.9. Pruebas que se realizaban al sistema de protección transformador de potencia**

Las pruebas que a continuación se detallan eran las que con anterior se aplicaban al sistema.

- Prueba protección diferencial

Datos:

Relé	87T
Marca	BBC
Tipo	D202

Ajustes:

V% 20

G% 20

Pruebas:

Fase R

I1	Tiempo	I2	Tiempo
1,02 A	1,572 s	1,02 A	1,038 s
2,00 A	0,088 s	2,00 A	0,081 s
3,01 A	0,058 s	3,00 A	0,066 s

Fase S

I1	Tiempo	I2	Tiempo
1,03 A	1,913 s	1,03	1,633 s
2,00 A	0,073 s	2,00	0,077 s
3,00 A	0,056 s	3,01	0,064 s

Fase T

I1	Tiempo	I2	Tiempo
1,02 A	1,387 s	1,02 A	1,233 s
2,00 A	0,087 s	2,00 A	0,081 s
3,00 A	0,067 s	3,01 A	0,067 s

Procedimiento: la prueba de este relé diferencial, se realizó con maleta monofásica, así que la corriente I1, corresponde a la corriente que se hace circular por la malla 1 del relé en la fase a prueba y la corriente I2 corresponde a la corriente que se hace circular por la malla 2 del relé en la fase que este a prueba.

### **3. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN PRINCIPAL Y DE RESPALDO PARA UNIDADES 1, 2 Y 3 Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA**

#### **3.1. Listado de materiales y equipo a utilizar**

En los siguientes subtítulos se detallan los materiales y equipos a utilizar.

##### **3.1.1. Equipo Maleta ISA**

La prueba de inyección de señales, es la más importante que se le puede realizar a los relés. Esta prueba consiste en utilizar equipo electrónico, denominado ISA, el cual se conecta a entradas de corrientes y voltajes del relé, con el objetivo de simular corrientes y voltajes el cual hacen la función de los CT's y PT's, que puede simular el funcionamiento de una unidad generadora.

El objetivo de esta prueba, es el de observar cómo se comporta el relé y cada una de las protecciones programadas en diferentes condiciones de funcionamiento. Por ejemplo, se observa con que magnitud de corriente o voltaje arranca el relé y con que magnitud realiza el disparo cada una de las protecciones, con la cual se realiza la prueba. El procedimiento es el siguiente:

- Es instalar el software del ISA, en una computadora
- Conectar la computadora con el equipo ISA, por medio del cable USB
- Verificar que el equipo ISA, esté funcionando correctamente
- Conectar las salidas de las señales del equipo ISA, con las entradas de las señales de los relés.

- Activar la protección del relé que se va a probar y desactivar todas las demás
- Por medio del software instalado en la computadora, realizar la inyección de señales. (Las señales, ya sean corrientes o voltajes, dependen de la protección a probar).
- Verificar en el relé, los avisos generados. Entre los cuales están: protección activada, *pick up*, disparo, tiempo de activación.

En la siguiente figura, se muestra la maleta ISA, con la cual se realizaron las pruebas a las protecciones de los relés en la Central Hidroeléctrica Santa María.

Figura 2. **Maleta Marca ISA**



Fuente: [www.isatest.com](http://www.isatest.com). Consulta: abril de 2013.

El equipo cuenta con un software, que se instala en una computadora, desde la cual se maneja el equipo.

### Características:

- Cuenta con seis fases para ingresar corrientes y voltajes y los respectivos ángulos.
- Ingreso de frecuencia a la cual se van a realizar las pruebas
- El programa cuenta con *timers* para definir el tiempo que dure la prueba
- Un contador que muestra la cantidad de tiempo que dura la falla
- Tiene tres botones, uno de iniciar la prueba, otro de parar la prueba y el último de *reset*.
- Además el equipo está diseñado para probar todos los relés de protección, medidores de energía y transductores.
- Particularmente diseñado para probar RTU y PMU
- Protocolo de interface IEC61850
- De alta precisión: mejor que 0,05 %
- Alimentación AC y DC
- Puerto USB Y RS232
- PC portátil o PDA de control

### 3.1.2. Herramientas

- Escalera, de doble banda, fabricado con aleación de aluminio, capaz de soportar una carga concentrada de 200 Kg, aplicada en cualquier punto del escalón o descanso.
- Casco de protección, el peso total del casco en suspensión, no sea mayor de 450 gramos de capacidad para protección eléctrica hasta 13,8 kV, resistencia al impacto y capacidad de amortiguación de 406 Kg.
- Pinzas de acero, mango de goma, de 10" de largo
- Corta cables de acero, mango de goma, de 12" de largo

- Pela cables de acero, mango de goma, de 10" de largo, para diferentes calibres de cable eléctrico.
- Alicates de acero, mango de goma, para apretar o aflojar
- Arco con sierra de 12" de largo mínimo, para cortar metal y tuberías
- Desarmadores tipo estrella y planos, para colocación y extracción de tornillos
- Alicates (pico de loro) de acero, mango de goma, para apretar o aflojar
- Navaja de acero
- Sierra, hoja de acero, para uso de arco con sierra
- Prensa terminales de acero, mango de goma, para diferentes calibres de cable eléctrico.

### **3.1.3. Materiales**

- Cable AWG con blindaje 4 X 10, 2 X 10, 12 X 14
- Escalerilla EZ-Trey 10 X 5 cms
- Cinchos plásticos de 7" y 10"
- Terminales cerradas para cable calibre 10 y 12
- Borneras para cable calibre 10 y 12
- Identificadores para cable

### **3.1.4. Tiempo requerido para la instalación de una protección**

El tiempo requerido aproximadamente es de 7 días para montaje e instalación de un tablero nuevo y 2 días para paro de unidad, para conexión de transformadores de instrumento, cableado de control y alarmas, incluyendo las pruebas de operación de los relés, va a depender del lugar donde se instale la protección, por ejemplo, en el caso la protecciones fueron instaladas en un

tablero nuevo, además de esto, hay que tomar en cuenta que es necesario la transición del sistema de protección antiguo al nuevo.

### **3.1.5. Mantenimiento**

La empresa de generación, realiza generalmente dos mantenimientos al año y una vez al año, las pruebas a las protecciones de las unidades y transformador, el mantenimiento implica pruebas de operación de los relés y la supervisión de posibles daños mecánicos o eléctricos de las protecciones, apriete en terminales, apriete y revisión de tubería que protege el cableado.

### **3.2. Transformadores de instrumento**

Son dispositivos electromagnéticos, cuya función es reducir a escala, las magnitudes de tensión y corriente que se utilizan para la protección y medición de los diferentes circuitos de un sistema eléctrico en general.

Cada punto de protección, deberá contar con los transformadores de corriente y los transformadores de tensión, con devanados independientes de la medición.

Con el objetivo de disminuir el costo y los peligros de realizar una medición o protección, en un sistema eléctrico de alta tensión, se disponen de los aparatos llamados transformadores de corriente y transformadores de potencial, que representan a escalas muy reducidas, las grandes magnitudes de corriente o de tensión respectivamente. Normalmente estos transformadores se construyen para corrientes secundarias de 5 o 1 amperio y para voltajes secundarios 100 o 120 voltios.

### 3.3. Montaje e instalación de transformadores de instrumento

Para las unidades 1, 2 y 3, se instalaron un juego de transformadores de corriente en el punto estrella del generador, un juego de transformadores de corriente en la salida del generador y un juego de transformadores de voltaje en la salida del generador, estos llevarán las señales a los relés de protección.

Para el transformador de potencia, se instaló un juego de transformadores de corriente (uno por cada fase) a la salida de 2,4 kV de la planta y se utilizarán los transformadores de corriente en la salida de 69 kV, para implementar la protección del transformador de potencia, como se puede ver en la figuras 3 y 4.

Figura 3. CT's y PT's de salida general de la planta 2,4 kV



Fuente: planta Central Hidroeléctrica Santa María.

Figura 4. **CT's y PT's de salida de la unidad 3**



Fuente: planta Central Hidroeléctrica Santa María.

### **3.3.1. Transformadores de corriente, instalados en unidades 1, 2 y 3 de la Central Hidroeléctrica Santa María**

Transformadores de corriente, la función principal es transformar o cambiar un valor de corriente, en un circuito a otro, que permita la alimentación de instrumentos y que por lo general puede ser de 5 o 1 amperio.

Para cada unidad 1, 2 y 3 se instalaron 3 transformadores de corriente, con las siguientes características:

Marca: Balleau

Fabricación: 2011

Relación: 800 / 5-5-5, 800 A, en el lado primario y 5 A, en el lado secundario con 2 devanados de protección y 1 devanado de medición.

Norma / Año: IEEE-C57.13 / 93

Tipo: NKR-24

Figura 5. Datos de placa, CT's de salida de la unidad 3



Fuente: planta Central Hidroeléctrica Santa María.

### 3.3.2. Transformadores de corriente instalados en la salida general 2,4 kV de la Central Hidroeléctrica Santa María

En la salida de la planta 2,4 kV, se instalaron 3 transformadores de corriente, con las siguientes características:

Marca Arteché

Fabricación: 01 / 2010

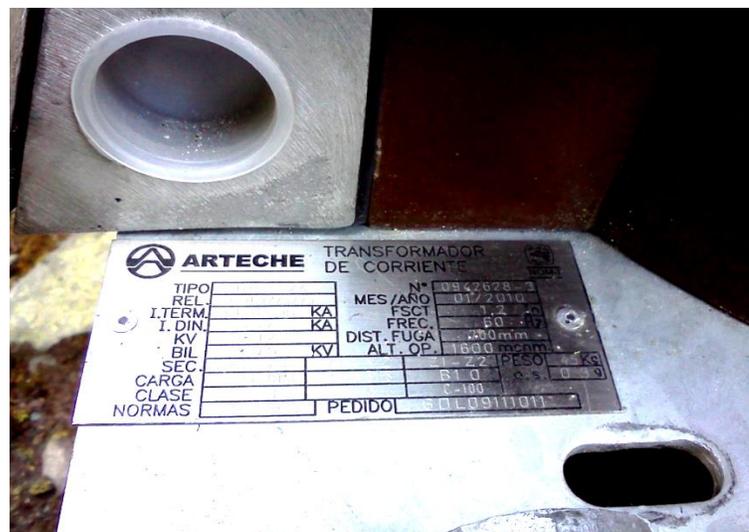
Relación: 2 000 / 5-5-5, 2 000 A, en el lado primario y 5 A, en el lado secundario con 2 devanados de protección y 1 devanado de medición.

Tipo: CRF – 24

BIL: 75 kV

Carga: B 0.1 y B 1.8

Figura 6. Datos de placa, CT's de salida de la planta 2,4 kV



Fuente: planta Central Hidroeléctrica Santa María

### 3.4. Clases de precisión para protección

Los transformadores con núcleos para protección, se diseñan para que la corriente secundaria, sea proporcional a la primaria, para corrientes con valores hasta 20 veces el valor de la corriente nominal.

La Norma ANSI/IEEE C57.13, hace la siguiente clasificación de precisión para protección.

#### **3.4.1. Clase C**

Esta clase cubre a los transformadores que, por tener los devanados uniformemente distribuidos, el flujo de dispersión en el núcleo no tiene efecto apreciable en el error de relación, dentro de los límites de carga y frecuencia especificados. La relación se puede calcular por métodos analíticos.

#### **3.4.2. Clase T**

Cubre los transformadores que, por no tener los devanados uniformemente distribuidos, el flujo de dispersión en el núcleo, afecta el error de relación, dentro de los límites de carga y frecuencia especificados. La relación debe ser determinada mediante pruebas de laboratorio.

Ambas clasificaciones deben complementarse con la tensión nominal secundaria, que el transformador puede suministrar a una carga normal, considerada entre  $B_{1,0}$  y  $B_{8,0}$ , cuando fluye una corriente con magnitud 20 veces la corriente nominal secundaria, sin exceder en 10 % el error de relación. El cual, deberá estar limitado a 10 % para cualquier corriente entre 1 y 20 veces la corriente nominal y para cualquier carga inferior a la nominal.

### **3.5. Corriente de límite térmico para transformadores de corriente utilizados para protecciones eléctricas**

Es el mayor valor eficaz de la corriente primaria que el transformador puede soportar por efecto Joule, durante un segundo, sin sufrir deterioro y con el circuito secundario en corto circuito. Se expresan en kiloamperios eficaces o en  $N$  veces la corriente primaria.

La elevación de temperatura admisible en el aparato es de 150 grados centígrados para aislamiento clase A. Dicha elevación se obtiene con una densidad de corriente de 143 A/mm<sup>2</sup>, aplicada durante un segundo.

Cálculo de la corriente térmica:

$$I_t = MVA_{cc} / 1,7372 \times KV$$

$I_t$  = valor efectivo de corriente de límite térmico

MVA = potencia de cortocircuito en MVA

KV = tensión nominal del sistema en kV

### **3.6. Corriente de límite dinámico**

Es el valor de pico de primera amplitud de corriente, que un transformador puede soportar por efecto mecánico, sin sufrir deterioro, con el circuito secundario en corto circuito. Se expresa en kiloamperios de pico, de acuerdo con la expresión.

$$I_d = 1,8 (\text{SQR } 2) I_t = 2,54 I_t.$$

$I_d$  = valor pico de la corriente dinámica.

En la práctica, para construir transformadores resistentes a los cortocircuitos se requiere grandes secciones de cobre en los embobinados, lo que reduce el número de espiras del primario. Con la potencia de precisión, varía sensiblemente con el cuadrado del número de amperes-vuelta del primario, la precisión de los transformadores que pueden resistir cortocircuitos, disminuye sensiblemente. Es decir, para tener un transformador con

características elevadas de cortocircuito, habría que limitar la precisión al mínimo.

### **3.7. Transformadores de potencial**

Son aparatos en los que la tensión secundaria, es proporcional a la tensión primaria en condiciones normales de operación, aunque ligeramente desfasada, desarrollan la función de transformar la tensión y a la vez, aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.

El devanado primario del transformador voltaje, se conecta en paralelo con el circuito por controlar y el secundario se conecta en paralelo, con las bobinas de tensión de los dispositivos de medición o protección que se requieran energizar. Estos aparatos se fabrican para interior o exterior y al igual que los de corriente, se fabrican con aislamientos de resinas sintéticas para tensiones baja o media, mientras que para altas tensiones, se utilizan aislamientos de papel, aceite y porcelana.

La relación de transformación de los transformadores de potencial (voltaje) está dada por la siguiente ecuación:

$$K_n = V_1 / V_2$$

Donde:

$V_1$  = voltaje en el devanado primario

$V_2$  = voltaje en el devanado secundario

$K_n$  = relación de transformación

### 3.7.1. Transformadores de potencial, instalados en unidades 1, 2 y 3 de la Central Hidroeléctrica Santa María

Para la unidad 1, 2 y 3 se instalaron 3 transformadores de potencial, con las siguientes características:

Marca: Balleau

Fabricación: 2011

Relación 2 400 / 120-120-120, 2 400 V, en el lado primario y 120 V, en el lado secundario con 1 devanado de protección y 2 devanados de medición.

Norma / Año IEEE-C57.13 / 93

Tipo: VFI-24

Figura 7. Datos de placa, PT's de salida de la unidad 3



Fuente: planta Central Hidroeléctrica Santa María.

### 3.7.2. Transformadores de potencial en la salida general 2,4 kV instalados en la Central Hidroeléctrica Santa María

En la salida de la planta 2,4 kV, se instalaron 3 transformadores de corriente, con las siguientes características:

Marca: General Electric

Relación: 20 / 1, 2 400 V, en el lado primario y 120 V, en el lado secundario con 1 devanado

Burden: 750 VA

BIL: 60 kV

Figura 8. Datos de placa, PT's de salida de la planta 2,4 KV



Fuente: planta Central Hidroeléctrica Santa María.

### **3.7.3. Potencia nominal secundaria de los transformadores de voltaje**

Es la potencia expresada en voltios-amperios, que se desarrolla bajo la tensión nominal y que se indica en la placa de características del aparato.

Para escoger la potencia nominal de un transformador, se suman las potencias que consumen las bobinas de todos los aparatos conectados en paralelo con el devanado secundario, más la pérdidas por efecto de las caídas de tensión, que se producen en los cables de alimentación; sobre todo cuando las distancias entre los transformadores y los instrumentos que alimentan son importantes; y se selecciona el valor nominal inmediato superior, a la cifra obtenida.

### **3.7.4. Carga (Burden) de los transformadores de voltaje**

Es la impedancia que se conecta a las terminales del devanado secundario y la conforman el medidor y los cables que se conectan a las terminales del PT o transformador de potencial.

### **3.7.5. Clase de precisión para medición**

La precisión de un transformador de potencial, se debe poder garantizar para valores 90 y 110 % de la tensión nominal.

Las Normas ANSI, definen la clase de precisión para medición de 0,2 y 0,3 para instrumentos de mediciones en laboratorios y para medidores de energía de sistemas de potencia y distribución.

### **3.8. Montaje e instalación de tableros de protección de las unidades**

El proyecto contempla la sustitución de los equipos de protección de las unidades (turbina, generador) 1, 2 y 3, de la Central Hidroeléctrica Santa María (figura 9) en el departamento de Quetzaltenango de la república de Guatemala. Los equipos de protección existentes, tienen muchos años de servicio, por lo tanto, son muy obsoletos como se puede apreciar en la figuras 11 y 12.

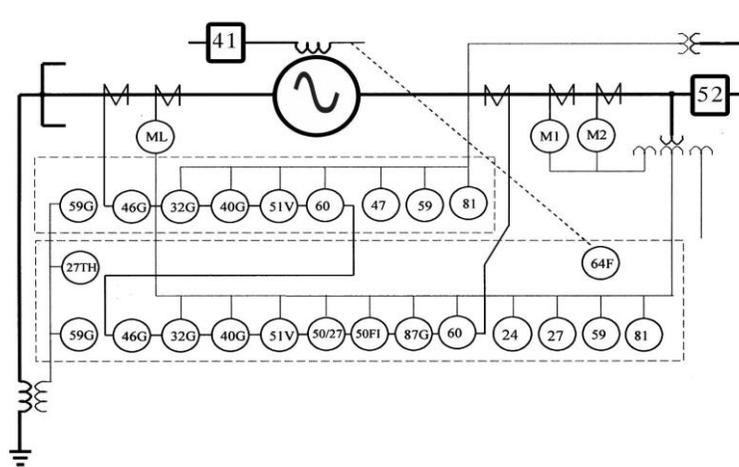
Figura 9. **Sala de generadores. Central Hidroeléctrica Santa María**



Fuente: Casa de máquina. Central Hidroeléctrica Santa María.

En la figura 10, se muestra un diagrama integral de las funciones incluidas en los equipos que integran los nuevos tableros.

Figura 10. **Diagrama integral de funciones incorporadas en los nuevos esquemas**



Fuente: elaboración propia, con programa de Visio.

Figura 11. **Vista posterior de uno de los tableros anteriores con equipo disperso**



Fuente: Casa de máquina, Central Hidroeléctrica Santa María.

Figura 12. **Algunos de los equipos de protección anteriores**



Fuente: Casa de máquina, Central Hidroeléctrica Santa María.

Figura 13. **Vista frontal de uno de los nuevos tableros de protección**



Fuente: Casa de máquina, Central Hidroeléctrica Santa María.

### 3.8.1. Instalación de protección principal y respaldo de las unidades

La instalación final de las unidades de protecciones de las unidades 1, 2 y 3, se muestra en la figura 14. Los nuevos equipos, son digitales con muchas ventajas adicionales sobre las protecciones anteriores, para estos equipos, se desarrollaron los ajustes adecuados para el óptimo aprovechamiento de las protecciones, incluidas en los nuevos tableros suministrados.

Figura 14. Vista lateral final de los tableros de protecciones



Fuente: Casa de máquina, Central Hidroeléctrica Santa María.

Como información básica, se tomó la unidad 3, ya que de las unidades de esta central, no se cuenta con información sobre los parámetros.

Marca: AEG

Capacidad KVA: 2 750

Tensión: 2 300  $\pm$  5 % V

Corriente: 690 A

Velocidad: 720 RPM

Excitación: 115 V; 222 A

Por lo tanto se toman valores típicos como referencia, para determinar los ajustes de las protecciones de las mismas.

$$X_d = 1,4 \text{ pu}$$

$$X'_d = 0,2 \text{ pu}$$

$$X''_d = 0,15 \text{ pu}$$

$$X_2 = 0,15 \text{ pu}$$

$$S_G = 4,73 \text{ MVA}$$

$$V_G = 2,3 \text{ nKV}$$

$$\text{F.P.} = 0,85$$

#### Determinación de corrientes de falla

- A la salida del generador con  $X'_d$ :

$$X_{1G} \text{ pu} = 1,4 \text{ pu} \left( \frac{10}{2,73} \right) \left( \frac{2,3}{2,4} \right)^2$$

$$X_{1G} \text{ pu} = 4,71 \text{ pu}$$

$$I_{CC3F} = (1/X_{1dG})$$

$$I_{CC3F} = (1/4,71)$$

$$I_{CC3F} = 0,2123 \text{ pu}$$

$$I_{CC3F} = (0,2123) (2\ 406) = 510,8 \text{ A}$$

- A la salida del generador con  $X_d$ :

$$I_{CC3F} = (1/X1G)$$

$$I_{CC3F} = (1/0,6728)$$

$$I_{CC3F} = 1,4863 \text{ pu}$$

$$I_{CC3F} = (1,4863) (2\ 406)$$

$$I_{CC3F} = 3,576 \text{ A}$$

### **3.8.2. Cableado de protección principal y respaldo de las unidades**

En la tabla a continuación se detalla las características correspondientes al cableado para cada uno de los generadores.

Tabla VII. Cables de control, protección, medición y fuerza por generador

GENERADOR 1									
LISTA DE CABLES DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDICIÓN Y FUERZA									
RUTA	No. DE CABLES	COLOR / IDENTIF.	SALE DE:	TERMINALES	LLEGA A:	TERMINALES	FUNCION	OBSERVACIONES Y REFERENCIA	
	4 x 10	Negro	Gabinete transf. De neutro G2		Tablero PCYM G2	V/6	Señal de voltaje de transf., de neutro protección principal	Señales a futuro	
		Blanco		V/7					
		Rojos							
		Verde							
	4 x 10	Negro	Devanado 1 TC-Neutro G2	TC Dev. R/ 1k	Tablero PCYM G2	C/1	Señal de corrientes lado neutro protección principal	Puentes entre terminales de CT's	
		Blanco		TC Dev. S/ 1k		C/2			
		Rojos		TC Dev. T/ 1k		C/3			
		Verde		TC Dev. T/ 11		C/4			
	4 x 10	Negro	Gabinete de TC's G2	TC Dev. R/ X1	Tablero PCYM G2	BPM1/1	Señal de potenciales de generador	Señales a futuro	
		Blanco		TC Dev. S/ X1		BPM1/5			
		Rojos		TC Dev. T/ X1		BPM1/9			
		Verde		TC Dev. T/ X2		BPM1/11			
	4 x 10	Negro	Gabinete de TC's G2	TC Dev. R/ Y1	Tablero PCYM G2	C/5	Señal de corrientes protección principal	Puentes entre terminales de CT's	
		Blanco		TC Dev. S/ Y1		C/6			
		Rojos		TC Dev. T/ Y1		C/7			
		Verde		TC Dev. T/ Y1		C/8			
	4 x 10	1	Gabinete de TC's G2	TC Dev. R/ Z1	Tablero PCYM G2	C/9	Señal de corrientes lado salida multimetedor	Puentes entre terminales de CT's	
		2		TC Dev. S/ Z1		C/10			
		3		TC Dev. T/ Z1		C/11			
		Ve / Am		TC Dev. T/ Z2		C/12			

Continuación de la tabla VII.

GENERADOR 1									
LISTA DE CABLES DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDICIÓN Y FUERZA									
RUTA	No. DE CABLES	COLOR / IDENTIF.	SALE DE:	TERMINALES	LLEGA A:	TERMINALES	FUNCIÓN	OBSERVACIONES Y REFERENCIA	
	4 x 10	Negro	Gabinete de TP's G2	TG2-X/1	Tablero PCyMG2	V/1	Señal de potenciales de generador 2 protección principal	Puentes en terminales TPG2-AX2 TPG2-BX2, TPG2-CX2 Y7	
		Blanco		TG2-X/3		V/2			
		Rojo		TG2-X/5		V/3			
		Verde		7		V/4			
	4 x 10	Negro	Gabinete de TP's G2	TG3-X/1	Tablero PCyMG2	BPMM1/13	Señal de potenciales de generador 2 multimetedor 1 multimetedor 2	Puentes en terminales TPG2-BY2, TPG2-CY2 Y7	
		Blanco		TG3-X/3		BPMM1/15			
		Rojo		TG3-X/5		BPMM1/17			
		Verde		7		BPMM1/19			
	4 x 10	Negro			Tablero PCyMG2	V1/13	Señal de potenciales de generador 3 medición instantánea ACM (MM3)	Señales a futuro	
		Blanco				V1/14			
		Rojo				V1/15			
		Verde				V1/16			
	4 x 10	Negro	Sección PCyM Transf.		Tablero PCyMG2	V1/09	Señal de potenciales de barra protección respaldo	Viene de la sección del tablero de Transformador	
		Blanco				V1/10			
		Rojo				V1/11			
		Verde				V1/12			

Continuación de la tabla VII.

GENERADOR 1									
LISTA DE CABLES DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDICIÓN Y FUERZA									
RUTA	No. DE CABLES	COLOR / IDENTIF.	SALE DE:	TERMINALES	LLEGA A:	TERMINALES	FUNCION	OBSERVACIONES Y REFERENCIA	
	12 x 14	1	Tablero PC y M G2	A/5	Gabinete Int. G2	X1 / 1	Cierre remoto	Puentes en terminales TPG2-AX2	
		2		A/7		X1 / 2	(-) negativo cto. Cierre	TPG2-B/Y2, TPG2-C/N2 Y7	
		3		A/16		X1 / 3	Disparo remoto		
		4		A/19		X1 / 4	(-) negativo cto. Disparo		
		5		A/4		X1 / 5	(+) positivo cto. Cierre	Puentes en terminales TPG2-AY2	
		6				A/45	X1 / 6	Posición Int. 52b PP	TPG2-B/Y2, TPG2-C/N2 Y7
		7				A/49	X1 / 7	Posición Int. 52b PP	
		8				A/10	X1 / 8	Int. Abierto lamp. Ind.	
		9				A/9	X1 / 9	Int. Cerrado lamp. Ind.	Señales a futuro
		10				A/25	X1 / 10	Posición Int. 52b PR	
		11				A/29	X1 / 11	Posición Int. 52b PR	
		12							
	2 x 10	Negro	Gabinete T. Excitador G2	TEX2-41	Gab. Reg. Voltaje	A / 5	Permisivo cierre	Viene de la sección del tablero de	
		Blanco		TEX2-42		A / 20	Permisivo cierre	Transformador	

Continuación de la tabla VII.

GENERADOR 2									
LISTA DE CABLES DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDICIÓN Y FUERZA									
RUTA	No. DE CABLES	COLOR/ IDENTIF.	SALE DE:	TERMINALES	LLEGA A:	TERMINALES	FUNCIÓN	OBSERVACIONES Y REFERENCIA	
	4 x 10	Negro	Gabinete transf. De neutro G2		Tablero PCyM G2	V/6	Señal de voltaje de transf., de neutro protección principal	Señales a futuro	
		Blanco		V/7					
		Rojo							
		Verde							
	4 x 10	Negro	Devanado 1 TC-Neutro G2	TC Dev. R/ 1k	Tablero PCyM G2	C/1	Señal de corrientes lado neutro protección principal	Puentes entre terminales de CT's	
		Blanco		TC Dev. S/ 1k		C/2			
		Rojo		TC Dev. T/ 1k		C/3			
		Verde		TC Dev. T/ 1l		C/4			
	4 x 10	Negro	Gabinete de TC's G2	TC Dev. R/ X1	Tablero PCyM G2	BMMM1/1	Señal de potenciales de generador 2	Señales a futuro	
		Blanco		TC Dev. S/ X1		BMMM1/5			
		Rojo		TC Dev. T/ X1		BMMM1/9			
		Verde		TC Dev. T/ X2		BMMM1/11			
	4 x 10	Negro	Gabinete de TC's G2	TC Dev. R/ Y1	Tablero PCyM G2	C/5	Señal de corrientes protección principal	Puentes entre terminales de CT's	
		Blanco		TC Dev. S/ Y1		C/6			
		Rojo		TC Dev. T/ Y1		C/7			
		Verde		TC Dev. T/ Y1		C/8			
	4 x 10	1	Gabinete de TC's G2	TC Dev. R/ Z1	Tablero PCyM G2	C/9	Señal de corrientes lado salida multimetedor MM2	Puentes entre terminales de CT's	
		2		TC Dev. S/ Z1		C/10			
		3		TC Dev. T/ Z1		C/11			
		Ve / Am		TC Dev. T/ Z2		C/12			
	4 x 10	Negro	Gabinete de TC's G2	TC Dev. R/ X1	Tablero PCyM G2	BMMM1/1	Señal de potenciales de generador 2	Señales a futuro	
		Blanco		TC Dev. S/ X1		BMMM1/5			
		Rojo		TC Dev. T/ X1		BMMM1/9			
		Verde		TC Dev. T/ X2		BMMM1/11			
	4 x 10	Negro	Gabinete de TC's G2	TC Dev. R/ Y1	Tablero PCyM G2	C/5	Señal de corrientes protección principal	Puentes entre terminales de CT's	
		Blanco		TC Dev. S/ Y1		C/6			
		Rojo		TC Dev. T/ Y1		C/7			
		Verde		TC Dev. T/ Y1		C/8			
	4 x 10	1	Gabinete de TC's G2	TC Dev. R/ Z1	Tablero PCyM G2	C/9	Señal de corrientes lado salida multimetedor MM2	Puentes entre terminales de CT's	
		2		TC Dev. S/ Z1		C/10			
		3		TC Dev. T/ Z1		C/11			
		Ve / Am		TC Dev. T/ Z2		C/12			

Continuación de la tabla VII.

GENERADOR 2									
LISTA DE CABLES DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDICIÓN Y FUERZA									
RUTA	No. DE CABLES	COLOR / IDENTIF.	SALE DE:	TERMINALES	LLEGA A:	TERMINALES	FUNCIÓN	OBSERVACIONES Y REFERENCIA	
	4 x 10	Negro	Gabinete de TP's G2	TG2-X / 1	Tablero PCyM G2	V/1	Señal de potenciales de generador 2 protección principal	Puentes en terminales TPG2-A/Y2 TPG2-B/Y2, TPG2-C/Y2 Y 7	
		Blanco		TG2-X / 3		V/2			
		Rojo		TG2-X / 5		V/3			
		Verde		7		V/4			
	4 x 10	Negro	Gabinete de TP's G2	TG3-X / 1	Tablero PCyM G2	BPMM1/13	Señal de potenciales de generador 2 multimedidor 1 multimedidor 2	Puentes en terminales TPG2-A/Y2 TPG2-B/Y2, TPG2-C/Y2 Y 7	
		Blanco		TG3-X / 3		BPMM1/15			
		Rojo		TG3-X / 5		BPMM1/17			
		Verde		7		BPMM1/19			
	4 x 10	Negro			Tablero PCyM G2	V1/13	Señal de potenciales de generador 3 medición instantánea ACM (MM3)	Señales a futuro	
		Blanco				V1/14			
		Rojo				V1/15			
		Verde				V1/16			
	4 x 10	Negro	Sección PCyM Transf.		Tablero PCyM G2	V1/09	Señal de potenciales de barra protección respaldo	Viene de la sección del tablero de Transformador	
		Blanco				V1/10			
		Rojo				V1/11			
		Verde				V1/12			

Continuación de la tabla VII.

GENERADOR 2									
LISTA DE CABLES DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDICIÓN Y FUERZA									
RUTA	No. DE CABLES	COLOR / IDENTIF.	SALE DE:	TERMINALES	LLEGA A:	TERMINALES	FUNCIÓN	OBSERVACIONES Y REFERENCIA	
		1		A/5		X1 / 1	Cierre remoto	Puentes en terminales TPG2-A/X2	
		2		A/7		X1 / 2	(-) negativo cto. Cierre	TPG2-B/X2, TPG2-C/X2 Y 7	
		3		A/16		X1 / 3	Disparo remoto		
		4		A/19		X1 / 4	(-) negativo cto. Disparo		
		5		A/4		X1 / 5	(+) positivo cto. Cierre	Puentes en terminales TPG2-A/Y2	
	12 x 14	6	Tablero PCyM G2	A/45	Gabinete Int. G2	X1 / 6	Posición Int. 52b PP	TPG2-B/Y2, TPG2-C/Y2 Y 7	
		7		A/49		X1 / 7	Posición Int. 52b PP		
		8		A/10		X1 / 8	Int. Abierto lamp. Ind.		
		9		A/9		X1 / 9	Int. Cerrado lamp. Ind.	Señales a futuro	
		10		A/25		X1 / 10	Posición Int. 52b PR		
		11		A/29		X1 / 11	Posición Int. 52b PR		
		12							
	2 x 10	Negro	Gabinete T. Excitador G2	TEX2-41	Gab. Reg. Voltaje	A / 5	Permisivo cierre	Viene de la sección del tablero de	
		Blanco		TEX2-42		A / 20	Permisivo cierre	Transformador	

Continuación de la tabla VII.

GENERADOR 3									
LISTA DE CABLES DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDICIÓN Y FUERZA									
RUTA	No. DE CABLES	COLOR / IDENTIF.	SALE DE:	TERMINALES	LLEGA A:	TERMINALES	FUNCION	OBSERVACIONES Y REFERENCIA	
	4 x 10	Negro	Gabinete transf. De neutro G3		Tablero PCyM G3	V1/6	Señal de voltaje de transf., de neutro protección principal	Señales a futuro	
		Blanco		V1/7					
		Rojo							
		Verde							
	4 x 10	Negro	Devanado 1 TC-Neutro G3	TC Dev. R/ 1k	Tablero PCyM G3	C/1	Señal de corrientes lado neutro protección principal	Puentes entre terminales de CT's	
		Blanco		TC Dev. S/ 1k		C/2			
		Rojo		TC Dev. T/ 1k		C/3			
		Verde		TC Dev. T/ 1l		C/4			
	4 x 10		Devanado 2 TC-Neutro G3		Tablero PCyM G3	C/5	Señal de corrientes lado neutro medición instantánea ACM (MM3)	Señales a futuro	
						C/6			
						C/7			
						C/8			
	4 x 10	1	Gabinete de TC's G3	TC Dev. R/ X1	Tablero PCyM G3	C/9	Señal de corrientes lado salida protección principal	Puentes entre terminales de CT's	
		2		TC Dev. S/ X1		C/10			
		3		TC Dev. T/ X1		C/11			
		Ve / Arm		TC Dev. T/ X2		C/12			
	4 x 10	1	Gabinete de TC's G3		Tablero PCyM G3	BPMM1/1	Señal de corrientes lado salida multimedidor MM1	Señales a futuro	
		2				BPMM1/5			
		3				BPMM1/9			
		Ve / Arm				BPMM1/11			
	4 x 10	1	Gabinete de TC's G3		Tablero PCyM G3	BPMM2/1	Señal de corrientes lado salida multimedidor MM2	Señales a futuro	
		2				BPMM2/5			
		3				BPMM2/9			
		Ve / Arm				BPMM2/11			

Continuación de la tabla VII.

GENERADOR 3								
LISTA DE CABLES DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDICIÓN Y FUERZA								
RUTA	No. DE CABLES	COLOR / IDENTIF.	SALE DE:	TERMINALES	LLEGA A:	TERMINALES	FUNCIÓN	OBSERVACIONES Y REFERENCIA
	12 x 14	1	Tablero PCyM G3	A/4	Gabinete Int. G3	X1 / 136	(+) Positivo cto. Cierre	
		2		A/7		X1 / 133	(-) negativo cto. Cierre	
		3		A/5		X1 / 140	Cierre remoto	
		4		A/9		X1 / 149	Int. Cerrado lamp. Ind.	
		5		A/10		X1 / 151	Int. Abierto lamp. Ind.	
		6		A/16		X1 / 135	Disparo remoto	
		7		A/19		X1 / 134	(-) negativo cto. Disparo	
		8		A/25		X1 / 142	Posición Int. 52b PP	
		9		A/25		X1 / 143	Posición Int. 52b PP	
		10		A/45		X1 / 146	Posición Int. 52b PR	
		11		A/49		X1 / 147	Posición Int.	
		12						
	2 x 10	Negro	Gabinete Int. 52-G3	X1 / 140	Gab. Reg. Voltaje	A / 27	Permisivo cierre	Bloqueo de cierre por posición de
		Blanco		X1 / 141		A / 28	Permisivo cierre	41a (interruptor de campo)
	4 x 10	1	Gabinete de TC's G3		Tablero PCyM G3	BPMM1/1	Señal de corrientes lado salida multimedidor MM1	Señales a futuro
		2				BPMM1/5		
		3				BPMM1/9		
		Ve / Am				BPMM1/11		
	4 x 10	1	Gabinete de TC's G3		Tablero PCyM G3	BPMM2/1	Señal de corrientes lado salida multimedidor MM2	Señales a futuro
		2				BPMM2/5		
		3				BPMM2/9		
		Ve / Am				BPMM2/11		

Continuación de la tabla VII.

GENERADOR 3									
LISTA DE CABLES DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDICIÓN Y FUERZA									
RUTA	No. DE CABLES	COLOR / IDENTIF.	SALE DE:	TERMINALES	LLEGA A:	TERMINALES	FUNCIÓN	OBSERVACIONES Y REFERENCIA	
	4 x 10	Negro	Gabinete transf. De neutro G3		Tablero PCyM G3	V1/6	Señal de voltaje de transf., de neutro protección principal	Señales a futuro	
		Blanco		V1/7					
		Rojo							
		Verde							
	4 x 10	Negro	Devanado 1 TC-Neutro G3	TC Dev. R/ 1k	Tablero PCyM G3	C/1	Señal de corrientes lado neutro protección principal	Puentes entre terminales de CT's	
		Blanco		TC Dev. S/ 1k		C/2			
		Rojo		TC Dev. T/ 1k		C/3			
		Verde		TC Dev. T/ 1l		C/4			
	4 x 10		Devanado 2 TC-Neutro G3		Tablero PCyM G3	C/5	Señal de corrientes lado neutro medición instantánea ACM (MM3)	Señales a futuro	
						C/6			
						C/7			
						C/8			
	4 x 10	1	Gabinete de TC's G3	TC Dev. R/ X1	Tablero PCyM G3	C/9	Señal de corrientes lado salida protección principal	Puentes entre terminales de CT's X2 de los devanados R, S Y T	
		2		TC Dev. S/ X1		C/10			
		3		TC Dev. T/ X1		C/11			
		Ve / Am		TC Dev. T/ X2		C/12			
	4 x 10	1	Gabinete de TC's G3		Tablero PCyM G3	BPMM1/1	Señal de corrientes lado salida multimedidor MM1	Señales a futuro	
		2				BPMM1/5			
		3				BPMM1/9			
		Ve / Am				BPMM1/11			
	4 x 10	1	Gabinete de TC's G3		Tablero PCyM G3	BPMM2/1	Señal de corrientes lado salida multimedidor MM2	Señales a futuro	
		2				BPMM2/5			
		3				BPMM2/9			
		Ve / Am				BPMM2/11			

Fuente: Central Hidroeléctrica Santa María.

### **3.8.3. Ajustes y pruebas de protección principal y respaldo de las unidades**

Se realizaron diferentes ajustes y pruebas a las protecciones principales y de respaldo de las unidades (turbina, generador) 1, 2 y 3, las cuales son:

### **3.8.4. Determinación de ajustes y pruebas de protecciones**

En los siguientes subtítulos se detallan los ajustes y pruebas de protección.

#### **3.8.4.1. Fallas a tierra del devanado (64G)**

Esta función proporciona protección contra fallas a tierra en el estator, para generadores conectados, a través de alta impedancia. La función 64G, puede proporcionar protección contra fallas a tierra para el 90 – 95 % del estator (medido desde las terminales de salida del generador). Monitorea la tensión a frecuencia fundamental presente, en el secundario del transformador de distribución monofásico, conectado entre el punto neutro del generador y tierra, contando con un filtro de rechazo de voltaje de tercera armónica. Se cuenta con un temporizador para proporcionar un retardo de tiempo, evita la operación del relevador con fallas a tierra en el sistema. En el estudio para aterrizamiento del neutro de los generadores, se ha determinado el valor de la resistencia y la relación del transformador de distribución.

$$R_s = 2,0 \Omega$$

$$\text{Relación} = 2400 / 240$$

$$I_{RS} = 70,71 \text{ Amperes}$$

Por lo tanto para una falla en terminales del generador se tendrá una tensión, luego la tensión en la  $R_s$  será.

$$V_{RS} = 70,71 (2,0)$$

$$V_{RS} = 141,42 \text{ V}$$

Para cubrir el 95 % del devanado del generador, se deberá tomar el 5 % de  $V_{RS}$ . Luego la tensión en la  $R_s$  será:

$$V_{RS} = 70,71 (2,0)$$

$$V_{RS} = 141,42 \text{ V}$$

Ajuste en voltios secundarios: para las fallas muy cercanas al neutro, el voltaje primario tiende a cero volts, por lo que no es posible detectar estas fallas. Esta es la razón por lo que el revelador detector de fallas a tierra, 64G o 59G se ajusta para proteger un 95 % del devanado del generador, quedando protegido la mayor parte del devanado, excepto el 5 % más cercano al neutro.

El voltaje secundario provocado por una falla en bornes del generador es de 141,42 V.

$$V_{64} = 141,42 (0,05) = 7,07 \text{ V}$$

$$V_{64} = 7,0 \text{ V}$$

Ajuste:

Disparo a 7,0 V y 3 segundos

Alarma a 4,2 V y 5 segundos

Debido a que existe un neutro flotante en las unidades 1 y 2 y neutro, sólidamente aterrizado en la unidad 3, debido a que en sistemas interconectados como es el caso de Guatemala, los generadores pequeños operan con el neutro flotante. La cual se va a implementar a un futuro. Por lo tanto, no existen pruebas del mismo.

Fallas a tierra del devanado (27TH): ya que la protección 64G, solo proporciona protección al 95 % del devanado, a partir de las terminales de salida de la unidad, dejando descubierto un 5 % más cercano al neutro, el cual se puede proteger mediante una función complementaria, un 27 que deberá operar a una frecuencia de 180 Hz.

El 27TH opera supervisando la tensión de tercera armónica, presente en el neutro de la unidad aterrizada vía transformador de distribución, esta tensión aunque es variable, está presente en condiciones normales de operación. El ajuste de esta protección, deberá realizarse por medio de mediciones de la tensión de tercera armónica presentes bajo diferentes condiciones de operación de la unidad

Tabla VIII. **Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador**

27TH			BAJO VOLTAJE DE 3a ARMÓNICA EN EL NEUTRO DATOS DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U.G-1						TIEMPO DE RESPUESTA	
			UMBRAL DE ACTIVACIÓN			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN
AJUSTES			ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN
N	TAP =	t	V sec (V)	V prim (KV)	tiempo (s)	Va	Vb	Vc	S	S
Dis p	5	10	5		10	5,031			10,000	10,021
Alm										
	A	S	Observaciones. La función se dejó deshabilitada ya que no se ocupa todavía.						Resultado	OK

Continuación de la tabla VIII.

27TH			BAJO VOLTAJE DE 3a ARMÓNICA EN EL NEUTRO DATOS DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U.G-2						TIEMPO DE RESPUESTA	
AJUSTES			ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN
N	TAP=	t	V sec (V)	V prim (KV)	tiempo (s)	Va	Vb	Vc	S	S
Disp	5	10	5		10	5,031			10,000	10,021
Alm										
	A	S	Observaciones La función se dejó deshabilitada ya que no se ocupa todavía.						Resultado	OK

27TH			BAJO VOLTAJE DE 3a ARMÓNICA EN EL NEUTRO DATOS DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U.G-3						TIEMPO DE RESPUESTA	
AJUSTES			ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN
N	TAP=	t	V sec (V)	V prim (KV)	tiempo (s)	Va	Vb	Vc	S	S
Disp	5	10	5		10	5,043			10,000	10,030
Alm										
	A	S	Observaciones. La función se dejó deshabilitada ya que no se ocupa todavía.						Resultado	OK

Fuente: elaboración propia.

### 3.8.4.2. Pérdida de campo (40 G)

Una pérdida de campo puede, ser obtenida como un resultado de una falla en el AVR (regulador automático de voltaje), un circuito abierto o un corto circuito del devanado principal del campo.

Durante condiciones del sistema en que este pierde la carga reactiva, el voltaje del sistema, tiende a incrementarse continuamente, por lo que se puede obtener una excitación reducida, causando un calentamiento excesivo en el

extremo del núcleo del estator. En ese caso la acción normal del AVR, terminará causando una sobrecarga del generador, llevándolo a una condición de pérdida de sincronismo.

Capacidades del generador: normalmente, los generadores síncronos operan sobre-excitados con un factor de potencia inductivo. Sin embargo, con bajas cargas en el sistema, puede ser necesario reducir la excitación y operar la máquina con factor de potencia capacitivo.

Características de operación del relevador: con fallas severas, el generador es disparado antes del calentamiento del primer polo.

Con fallas menores sólo se proporciona una alarma, tan pronto como el límite de capacidad térmica es excedido. El disparo no ocurre en caso de que el campo este intacto y a velocidad asíncrona o en el caso de oscilaciones de potencia.

Alcances de las características de impedancia.

$$A = 1,0 \text{ pu} + C$$

$$B = X_d + C$$

$$C = X'_d / 2 = \text{offset}$$

Zona 1. El diámetro de la característica MHO debe ser igual a la impedancia equivalente a 1,0 pu de potencia de la máquina y el desplazamiento hacia el lado negativo del eje X, debe ser igual a C.

$$d1 = V_{nom} / I_{nom} \sqrt{3}$$

$$d1 = 2300 / 690 (\sqrt{3})$$

$$d1 = 1,924 \Omega \text{ primarios}$$

$$d2 = 1,4 \text{ pu a } 2.73 \text{ MVA}$$

$$d2 = 1.4 (10 / 2.73)$$

$$d2 = 5,128 \text{ pu a } 10 \text{ MVA}$$

$$d2 = 5,128 (0,576)$$

$$d2 = 2,954 \Omega \text{ primarios}$$

$$C = X'd / 2$$

$$X'd = 0,2 \text{ pu a } 2,73 \text{ MVA}$$

$$X'd = 0,2 (10 / 2,73)$$

$$X'd = 0,732 \text{ pu a } 10 \text{ MVA}$$

$$X'd = 0,732 (0,576)$$

$$X'd = 0,422 \Omega \text{ primarios}$$

$$C = 0,422 / 2$$

$$C = 0,211 \Omega \text{ primarios}$$

Zona 2: el diámetro de la característica MHO debe ser igual al valor  $X_d$  de la propia máquina y el desplazamiento hacia el lado negativo del eje X, debe ser igual a  $X'd / 2$  de la misma.

Ajustes en Ohms sec:

$$Z_{sec} = Z_{prim} (RTC / RTP)$$

$$RTC / RTP = 160/20$$

$$RTC / RTP = 8,0$$

$$d1 = 1,924 (8)$$

$$d1 = 15,392 \Omega \text{ sec}$$

$$d2 = 2,954 (8)$$

$$d1 = 23,632 \Omega \text{ sec}$$

*Offset = C*

*Offset = 0,211 (8)*

*Offset = 1,688 Ω sec*

### **3.8.4.3. Corriente de secuencia negativa (46 G)**

La protección de corriente de secuencia negativa, protege a los generadores, contra el sobrecalentamiento peligroso que puede producirse a causa de la corriente de secuencia negativa.

Las corrientes de un generador están normalmente balanceadas, pero cuando ocurre una falla en el sistema eléctrico, este balance se puede perder. Las fallas monofásicas o bifásicas, pérdida de una fase por puente abierto, o la conexión de carga desbalanceada en la red, pueden originar corrientes desbalanceadas, lo que significa corrientes de secuencia negativa. Se supone que un generador puede soportar normalmente corriente de secuencia negativa que no excedan un valor máximo (10 % por default) durante un tiempo  $t$ , de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$t = K [ I_m / I_2 ]^2$$

Donde:

$t$  = tiempo de aguante del generador, en segundos

$I_m$  = corriente nominal del generador, en amperes secundarios

$I_2$  = corriente de secuencia negativa

$K$  = constante del generador, en segundos

Representa el tiempo durante el cual, una corriente de secuencia negativa que sea equivalente a la corriente nominal del generador, puede ser

tolerada. Esta constante varía con el tipo de generador y el tipo de refrigeración. Para la mayor parte de los tipos de los generadores, el valor cae entre 5 y 30 segundos, pero en algunos generadores de polos salientes en centrales hidroeléctricas, puede llegar a ser tan alto, como 40 segundos. Para una corriente de secuencia negativa equivalente a la nominal de la máquina, como se puede apreciar en la figura 15.

Para diferentes tipos de generadores se pueden aplicar los porcentajes de la tabla VII.

Tabla IX. **Tipo de generador**

TIPO DE GENERADOR	I2 PERMISIBLE (% de Inominal)
Polos salientes	
Con devanado amortiguador	10
Sin devanado amortiguador	5
Rotor cilíndrico	
Enfriados indirectamente	10
Enfriados directamente	8
TIPO DE GENERADOR	K2 PERMISIBLE
Polos salientes	
Condensador síncrono	10
Rotor cilíndrico	
Enfriados indirectamente	20
Enfriados directamente	10

Fuente: elaboración propia.

Para determinar la palanca se recurre a la tabla VI en donde  $K = 40$ , de donde se puede seleccionar  $K = 30$ . Ajustes del relevador:

$$I_2 \text{ min sec} = I_{\text{min prim}} / \text{RTC}$$

$$I_2 \text{ min sec} = 34,5 / 160$$

$$I_2 \text{ min sec} = 0,2156 \text{ Amperes secundarios}$$

$$I_2 \text{ min sec} = 0,21 \text{ A de } I_2$$

$$K = 30$$

$$\text{Tiempo máximo} = 140 \text{ S.}$$

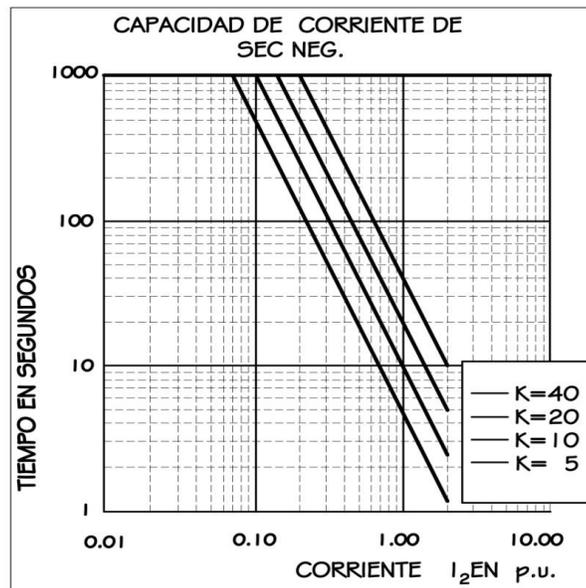
Cálculo  $t$  para  $I_2 = 1,0 \text{ pu}$

$$K = (I_2)^2 t$$

$$t = K / (I_2)^2$$

$$t = 30 / 1 = 30$$

Figura 15. **Curva de capacidad**



Fuente: elaboración propia.

Lo cual significa que una  $I_2$  con magnitud igual a  $1.0 \mu$ , provocará un disparo en un tiempo de 30 segundos.

Ajustes:

$I_2 \text{ min} = 0,21$

$K = 30$

Tiempo máximo = 140 S.

Tabla X. Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador, pérdida de campo (40 G)

PRUEBAS A RELEVADORES DE DISTANCIA												
DATOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN												
EMPRESA	INDE	UNIDAD	G-1	KV =	2.3							PROTECCION
AREA/DIV.	EGEE	MVA	2.73	Inom =	690 A							PRINCIPAL
PLANTA	Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20							
UBICACIÓN	Zunil Quetzaltenango, Guat			RTC =	160							
DATOS DE LA PROTECCIÓN		MARCA:	BECKWITH	MODELO:	M-3425A							SECCIÓN: 1
		TIPO:	12545	SERIE:	7609							PRUEBAS: P.S.
40G												
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ALCANCE												
ZONA	AJUSTES			VALORES DE PRUEBA			VOLTAJE DE OPERACIÓN			TIEMPO DE OPER. (SEG)	RESULTADOS	
	Diam=	Desp=	Top1=	°	Ω	V esperado	I prueba	Ω	Volts			Amp
1	15.4	1.7	60	300	2	10	5	2	10	5	1.019	OK
	300	300	270	300	14.5	60	4.14	14.1	59.76	4.238	1.025	OK
	270	60	240	270	17.1	60	3.51	16.8	59.76	3.557	1.0361	OK
	240		270	240	14.5	60	4.14	14	59.76	4.269	1.029	OK
	240		270	240	2	10	5	2	10	5	1.022	OK
2	270		270	90	1.7	10	5.88	1.6	8	5	1.016	OK
	90		270	90	10	20		No opera	No opera	No opera		OK
	23.6		270	300	2	10	5	2	10	5	1.518	OK
	1.7		270	300	21.6	60	2.78	20.95	59.76	2.853	1.527	OK
	90		270	270	25.3	60	2.37	25.3	59.76	2.362	1.528	OK
		270	240	21.6	60	2.78	21	59.76	2.846	1.529	OK	OK
		270	240	2	10	5	2.1	10.5	5	1.51	OK	OK
		270	270	1.7	10	5.88	1.7	8.5	5	1.514	OK	OK
		90	90	10	10	10	1	No opera	No opera	No opera	OK	OK
OBSERVACIONES												
VERIFICACIÓN DE FUNCIONES												
CONFIG./ENTRADAS												
CONFIG./SALIDAS												
INDICACIÓN												

Continuación de la tabla X.

PRUEBAS A RELEVADORES DE DISTANCIA													
DATOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN													
EMPRESA	INDE	UNIDAD	G-1	KV =	2.3							PROTECCION	
AREA/DIV.	EGEE	MVA	2.73	Inom =	690 A							RESPALDO	
PLANTA	Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20								
UBICACIÓN	Zunil Quetzaltenango, Gua				RTC =	160							
DATOS DE LA PROTECCIÓN		MARCA:	BECKWITH	MODELO:	M-3425f	SECCION:		1					
		TIPO:	12545	SERIE:	7609	PRUEBAS:		P.S.					
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ALCANCE													
ZONA	AJUSTES	VALORES DE PRUEBA			VOLTAJE DE OPERACIÓN				TIEMPO DE OPER.(SEG)	RESULTADOS			
		°	Ω	I prueba	Ω	Volts	Amp						
1	Diam=	15.4	2	300	5	2.2	11	5	1.012	OK			
	Desp=	1.7	14.5	300	4.14	13.9	59.76	4.299	1.034	OK			
	Top1=	60	17.1	270	3.51	16.8	59.76	3.557	1.022	OK			
			14.5	240	4.14	14	59.76	4.269	1.032	OK			
			2	240	5	2.15	10.75	5	1.01	OK			
			1.7	270	10	1.8	9	5	1.021	OK			
2			1.7	90	5.88	No opera	No opera	No opera		OK			
	Diam=	23.6	2	300	5	2	10	5	1.511	OK			
	Desp=	1.7	21.6	300	2.78	20.95	59.76	2.853	1.526	OK			
	Top2=	90	25.3	270	2.37	25.2	59.76	2.371	1.529	OK			
			21.6	240	2.78	21	59.76	2.846	1.521	OK			
			2	240	5	2.1	10.5	5	1.519	OK			
		1.7	270	10	1.7	8.5	5	1.513	OK				
		25.3	90	60	No opera	No opera	No opera	No opera		OK			
OBSERVACIONES													
VERIFICACIÓN DE FUNCIONES													
CONFIG./ENTRADAS													
CONFIG./SALIDAS													
INDICACIÓN													

Continuación de la tabla X.

PRUEBAS A RELEVADORES DE DISTANCIA												
DATOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN												
EMPRESA	INDE	UNIDAD	G-2	KV =	2.3							PROTECCIÓN
AREA/DIV.	EGEE	MVA	2.73	Inom =	690 A							PRINCIPAL
PLANTA	Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20							
UBICACIÓN	Zunil Quetzaltenango, Gua			RTC =	160							
DATOS DE LA PROTECCIÓN		MARCA:	BECKWITH	MODELO:	M-3425A			SECCIÓN:	2			
		TIPO:	12549	SERIE:	7615			PRUEBAS:	P.S.			
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ALCANCE												
ZONA	AJUSTES	VALORES DE PRUEBA				VOLTAJE DE OPERACIÓN				TIEMPO DE OPER.(SEG)	RESULTADOS	
		°	Ω	V esperado	I prueba	Ω	Volts	Amp				
1	Diam=	15.4	2	10	5	2	10	5		1.079	OK	
	Desp=	1.7	14.5	60	4.14	14.2	60	4.22		1.016	OK	
	Top1=	60	17.1	60	3.51	16.9	60	3.55		1.059	OK	
			240	14.5	60	4.14	14.2	60	4.22		1.028	OK
			240	2	10	5	2.2	10	4.54		1.025	OK
			270	1.7	10	5.88	1.8	10	5.55		1.012	OK
2	Diam=	23.6	2	10	5	No opera	No opera	No opera		1.509	OK	
	Desp=	1.7	21.6	60	2.78	21.4	60	2.8		1.525	OK	
	Top2=	90	25.3	60	2.37	25.3	60	2.37		1.525	OK	
			240	21.6	60	2.78	21.4	60	2.8		1.528	OK
			240	2	10	5	2.2	10	4.54		1.511	OK
			270	1.7	10	5.88	1.8	10	5.55		1.507	OK
VERIFICACION DE FUNCIONES		OBSERVACIONES										
CONFIG/ENTRADAS												
CONFIG/SALIDAS												
INDICACIÓN												

Continuación de la tabla X.

PRUEBAS A RELEVADORES DE DISTANCIA												
DATOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN												
EMPRESA	INDE	UNIDAD	G-2	KV =	2.3							PROTECCIÓN
AREA/DIV.	EGEE	MVA	2.73	Inom =	690 A							RESPALDO
PLANTA	Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20							
UBICACIÓN	Zunil Quezaltenango, Guat											
DATOS DE LA PROTECCIÓN		MARCA:	BECKWITH	MODELO:	M-3425A							SECCIÓN: 2
		TIPO:	12545	SERIE:	7609							PRUEBAS: P.S.
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ALCANCE												
ZONA	AJUSTES	VALORES DE PRUEBA				VOLTAJE DE OPERACIÓN				TIEMPO DE OPER. (SEG)	RESULTADOS	
		°	Ω	V esperado	I prueba	Ω	Volts	Amp				
1	Diam=	300	2	10	5	2.2	10	4.54	1.012	OK		
	Desp=	300	14.5	60	4.14	14.22	60	4.21	1.034	OK		
	Top1=	270	17.1	60	3.51	16.9	60	3.55	1.025	OK		
		240	14.5	60	4.14	14.11	60	4.25	1.032	OK		
		240	2	10	5	2.1	10	4.76	1.024	OK		
		270	1.7	10	5.88	1.836	10	5.44	1.021	OK		
2	Diam=	300	2	10	5	2.12	10	4.71	1.526	OK		
	Desp=	300	21.6	60	2.78	21.04	60	2.85	1.527	OK		
	Top2=	270	25.3	60	2.37	25	60	2.4	1.529	OK		
		240	21.6	60	2.78	21.04	60	2.85	1.521	OK		
		240	2	10	5	2.09	10	4.78	1.519	OK		
		270	1.7	10	5.88	1.734	10	5.76	1.513	OK		
		90	25.3	60	2.37	No opera	No opera	No opera		OK		
OBSERVACIONES												
VERIFICACIÓN DE FUNCIONES												
CONFIG./ENTRADAS												
CONFIG./SALIDAS												
INDICACIÓN												

Continuación de la tabla X.

PRUEBAS A RELEVADORES DE DISTANCIA												
DATOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN												
EMPRESA	INDE	UNIDAD	G-3	KV =	2.3							PROTECCIÓN
AREA/DIV.	EGEE	MVA	2.73	Inom =	690 A							PRINCIPAL
PLANTA	Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20							
UBICACIÓN	Zunil Quetzaltenango, Guat											
DATOS DE LA PROTECCIÓN		MARCA:	BECKWITH	MODELO:	M-3425A							SECCION: 3
		TIPO:	12545	SERIE:	7601							PRUEBAS: P.S.
<b>40G</b>												
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ALCANCE												
ZONA	AJUSTES	VALORES DE PRUEBA				VOLTAJE DE OPERACIÓN				TEMPO DE OPER.(SEG)	RESULTADOS	
		°	Ω	V esperado	I prueba	Ω	Volts	Amp				
1	Diam=	15.4	300	10	5	2	10	5				OK
	Desp=	1.7	300	60	4.14	14.1	59.76	4.238				OK
	Top1=	60	270	60	3.51	16.8	59.76	3.557				OK
			240	60	4.14	14	59.76	4.269				OK
			240	10	5	2	10	5				OK
			270	10	5.88	1.6	8	5				OK
2	Diam=	23.6	300	10	5	No opera	No opera	No opera				OK
	Desp=	1.7	300	60	2.78	20.95	59.76	2.853				OK
	Top2=	90	270	60	2.37	25.3	59.76	2.362				OK
			240	60	2.78	21	59.76	2.846				OK
			240	10	5	2.1	10.5	5				OK
			270	10	5.88	1.7	8.5	5				OK
		90	10	10	1	No opera	No opera	No opera				OK
OBSERVACIONES												
VERIFICACION DE FUNCIONES												
CONFIG./ENTRADAS												
CONFIG./SALIDAS												
INDICACION												

Continuación de la tabla X.

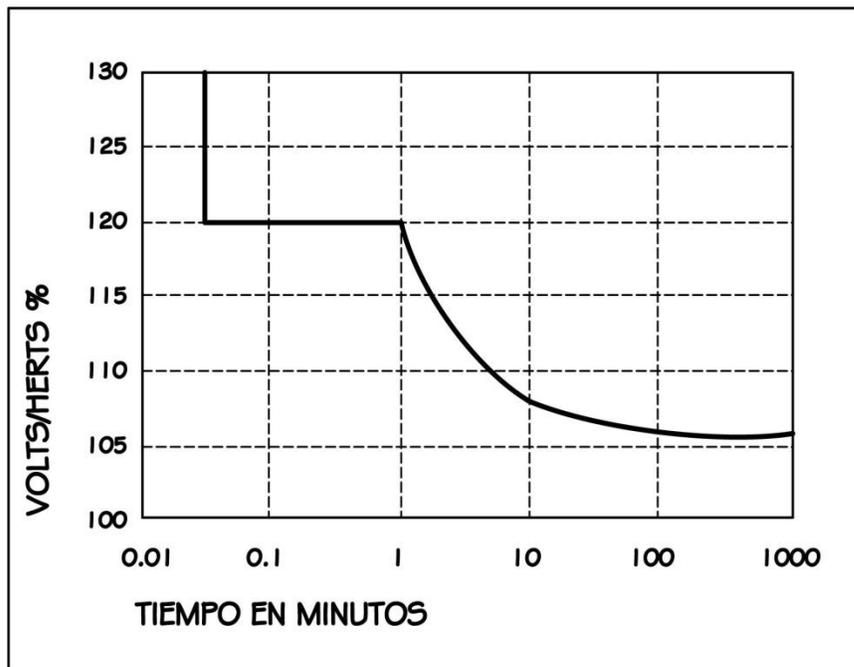
PRUEBAS A RELEVADORES DE DISTANCIA											
DATOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN											
EMPRESA	INDE	UNIDAD	G-3	KV =	2.3	PROTECCIÓN					
AREA/DIV.	EGEE	MVA	2.73	Inom =	690 A	RESPALDO					
PLANTA	Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20						
UBICACIÓN	Zunil Quetzaltenango, Gua			RTC =	160						
DATOS DE LA PROTECCIÓN		MARCA:	BECKWITH	MODELO:	M-3425A	SECCION:		3			
		TIPO:	12549	SERIE:	7642	PRUEBAS:		P.S.			
<b>40G</b>											
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ALCANCE											
ZONA	VALORES DE PRUEBA					VOLTAJE DE OPERACIÓN					RESUL- TADOS
	°	Ω	V esperado	I prueba	Ω	Volts	Amp	TIEMPO DE OPER.(SEG)			
1	AJUSTES										
	Diam=	15.4	2	10	5	2.2	11	5	1.012	OK	
	Desp=	1.7	14.5	60	4.14	13.9	59.76	4.299	1.034	OK	
	Top1=	60	17.1	60	3.51	16.8	59.76	3.557	1.022	OK	
			240	14.5	60	4.14	14	59.76	4.269	1.032	OK
2		240	2	10	5	2.15	10.75	5	1.01	OK	
		270	1.7	10	5.88	1.8	9	5	1.021	OK	
		90	10	20		No opera	No opera	No opera		OK	
	Diam=	23.6	2	10	5	2	10	5	1.511	OK	
	Desp=	1.7	21.6	60	2.78	20.95	59.76	2.853	1.526	OK	
	Top2=	90	25.3	60	2.37	25.2	59.76	2.371	1.529	OK	
			240	21.6	60	2.78	21	2.846	1.521	OK	
			240	2	10	5	2.1	5	1.519	OK	
			270	1.7	10	5.88	1.7	8.5	1.513	OK	
			90	10	10	1	No opera	No opera	No opera	OK	
OBSERVACIONES											
VERIFICACIÓN DE FUNCIONES											
CONFIG./ENTRADAS											
CONFIG./SALIDAS											
INDICACIÓN											

Fuente: Central Hidroeléctrica Santa María.

#### 3.8.4.4. Protección sobre excitación (24G)

Esta debe proteger al generador contra presencia de voltaje a baja frecuencia. Los límites para la operación del generador se muestran en la figura siguiente:

Figura 16. Curva límite para operación de generadores



Fuente: Protección de generadores síncronos, tutorial IEEE.

Por lo tanto, se requiere que la curva de operación de esta protección, deberá quedar por debajo de esta curva. Si es de tiempo inverso puede ajustarse para operar con: un sobrevoltaje de 110% en un tiempo de 60 segundos, que resulta en una  $K=3,6$

Con relevador de tiempo definido en 2 escalones.

1° escalón:

$$V_1 \text{ op} = 105 \% (V_{\text{nom}})$$

$$V_1 \text{ op} = 1,05 (2\ 300)$$

$$V_1 \text{ op} = 2\ 415 \text{ V}$$

$$V_1 \text{ op} = 2\ 415 / 20 \text{ V}$$

$$V_1 \text{ op} = 120,75 \text{ Vsec}$$

$$t_1 = 60 \text{ segundos}$$

2° escalón:

$$V_2 \text{ op} = 112 \% (V_{\text{nom}})$$

$$V_2 \text{ op} = 1,12 (2\ 300)$$

$$V_2 \text{ op} = 2\ 576 \text{ V}$$

$$V_2 \text{ op} = 2\ 576 / 20 \text{ V}$$

$$V_2 \text{ op} = 128,8 \text{ Vsec}$$

$$T_2 = 2 \text{ segundos}$$

Ajustes:

$$24\text{TI: min} = 105 \%$$

$$\text{Curva} = 3$$

$$\text{Palanca} = 3,6$$

Nota: observando los datos de placa de las unidades, se encuentra que la tensión de diseño es de 2 300 V con una tolerancia de más, menos 5 %, sin embargo, las unidades han estado operando a 2 400 V, como la tensión nominal. A la frecuencia nominal de 60 Hz, lo que representa una sobreexcitación permanente en las unidades que pudiera resultar perjudicial para las mismas.

$$\text{Sobreexcitación} = 2\ 400 / 2\ 300$$

Sobreexcitación = 1 043

Lo cual representa una sobreexcitación de 4,3 % de manera permanente. Por esta razón el primer escalón de la protección, solo producirá alarma, mientras que el segundo escalón, si producirán disparo.

Tabla XI. **Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador**

27TD			VOLTS / HERTZ TIEMPO DEFINIDO PROTECCIÓN PRINCIPAL U.G-1						DATOS DE LA	
AJUSTES			ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERAD O	OPERACIÓ N
N	TAP=	t	f	V sec	KV prim	VA	VB	VC	S	S
Disp	112	2	53,5	66,4	1,32	53,4	53,4	53,4	V	1.989
Alm	105	60	57,1	66,4	1,32	56,9	56,9	56,9	60	60,237
	%	S	Observac.						Resultado	OK
27TD			VOLTS / HERTZ TIEMPO DEFINIDO PROTECCIÓN RESPALDO U.G-1						DATOS DE LA	
AJUSTES			ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERAD O	OPERACIÓ N
N	TAP=	t	f	V sec	KV prim	VA	VB	VC	S	S
Disp	112	2	53,5	66,4	1,32	53,4	53,4	53,4	V	1,949
Alm	105	60	57,1	66,4	1,32	56,9	56,9	56,9	60	60,091
	%	S	Observac.						Resultado	OK
27TD			VOLTS / HERTZ TIEMPO DEFINIDO PROTECCIÓN PRINCIPAL U.G-2						DATOS DE LA	
AJUSTES			ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERAD O	OPERACIÓ N
N	TAP=	t	f	V sec	KV prim	VA	VB	VC	S	S
Disp	112	2	53,5	66,4	1,32	53,4	53,4	53,4	V	1,989
Alm	105	60	57,1	66,4	1,32	56,9	56,9	56,9	60	60,237
	%	S	Observac.						Resultado	OK

Continuación de la tabla XI.

27TD		VOLTS / HERTZ TIEMPO DEFINIDO LA PROTECCIÓN RESPALDO U.G-2							DATOS DE	
AJUSTES		ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN	
N	TAP=	t	f	V sec	KV prim	VA	VB	VC	S	S
Disp	112	2	53,5	66,4	1,32	53,4	53,4	53,4	V	1,949
Alm	105	60	57,1	66,4	1,32	56,9	56,9	56,9	60	60,091
	%	S	Observac.						Resultado	OK
27TD		VOLTS / HERTZ TIEMPO DEFINIDO PROTECCIÓN PRINCIPAL U.G-3							DATOS DE LA	
AJUSTES		ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN	
N	TAP=	t	f	V sec	KV prim	VA	VB	VC	S	S
Disp	112	2	53,5	66,4	1,32	53,4	53,4	53,4	V	2,115
Alm	105	60	57,1	66,4	1,32	56,9	56,9	56,9	60	60,148
	%	S	Observac.						Resultado	OK
27TD		VOLTS / HERTZ TIEMPO DEFINIDO PROTECCIÓN RESPALDO U.G-3							DATOS DE LA	
AJUSTES		ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN	
N	TAP=	t	f	V sec	KV prim	VA	VB	VC	S	S
Disp	112	2	53,5	66,4	1,32	53,4	53,4	53,4	V	2,061
Alm	105	60	57,1	66,4	1,32	56,9	56,9	56,9	60	60,018
	%	S	Observac.						Resultado	OK

Fuente: elaboración propia.

### 3.8.4.5. Protección de potencia inversa 32G

Normalmente la unidad entrega potencia al sistema, por lo tanto, difícilmente podría recibir potencia del sistema, salvo que se perdiera la fuerza proveniente del primo-motor. Para prevenir daños por esta causa, que la máquina tome potencia del sistema, se puede aplicar una protección contra potencia invertida (32G), cuyo ajuste debe ser de un 50 % de la potencia que tomaría la máquina del sistema, si pierde la fuente de energía mecánica. Asumiendo que la máquina tome una potencia de 12 %, de la potencia nominal.

$$P_N = 2,73 (0,85) = 2,32 \text{ MW}$$

$$P_{\min} = 2,32 (0,12) = 0,2784 \text{ MW}$$

$$P_{\text{arr}} = 0,5 (278,4) \text{ KW}$$

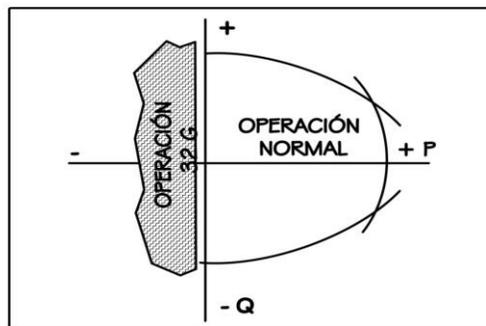
$$P_{\text{arr}} = 139,2 \text{ KW primarios}$$

$$P_{\text{arr}} = 139,2 / \text{RTP} \times \text{RTC}$$

$$P_{\text{arr}} = 139\ 200 / 20 \times 160$$

$$P_{\text{arr}} = 43,5 \text{ W secundarios}$$

Figura 17. **Curva de operación de generadores**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador**

32G		POTENCIA INVERSA DATOS DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U.G-1									
		UMBRAL DE ACTIVACIÓN								TIEMPO DE RESPUESTA	
AJUSTES			ESPERADO				FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN
N	TAP =	t	f	I sec	W sec	MW	W sec	V sec	I sec	S	S
Disp	6	1	66,4	0,258	51,50	0,1648	51,7	66,4	0,26	1	1,17
Alm											
	%	S	Observaciones							Resultado	OK

32G		POTENCIA INVERSA DATOS DE LA PROTECCIÓN RESPALDO U. G-1									
		UMBRAL DE ACTIVACION								TIEMPO DE RESPUESTA	
AJUSTES			ESPERADO				FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN
N	TAP =	t	f	I sec	W sec	MW	W sec	V sec	I sec	S	S
Disp	6	1	66,4	0,258	51,50	0,1648	51,7	66,4	0,26	1	1,092
Alm											
	%	S	Observaciones							Resultado	OK

32G		POTENCIA INVERSA DATOS DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U.G-2									
		UMBRAL DE ACTIVACION								TIEMPO DE RESPUESTA	
AJUSTES			ESPERADO				FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN
N	TAP =	t	f	I sec	W sec	MW	W sec	V sec	I sec	S	S
Disp	6	1	66,4	0,258	51,50	0,1648	51,7	66,4	0,26	1	1,17
Alm											
	%	S	Observaciones							Resultado	OK

Continuación de la tabla XII.

32G		POTENCIA INVERSA DATOS DE LA PROTECCIÓN RESPALDO U. G-2									
		UMBRAL DE ACTIVACION								TIEMPO DE RESPUESTA	
AJUSTES			ESPERADO				FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN
N	TAP =	t	f	l sec	W sec	MW	W sec	V sec	l sec	S	S
Disp	6	1	66,4	0,258	51,50	0,1648	51,7	66,4	0,26	1	1,092
Alm											
	%	S	Observaciones							Resultado	OK

32G		POTENCIA INVERSA DATOS DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U.G-3									
		UMBRAL DE ACTIVACIÓN								TIEMPO DE RESPUESTA	
AJUSTES			ESPERADO				FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN
N	TAP =	t	f	l sec	W sec	MW	W sec	V sec	l sec	S	S
Disp	6	1	66,4	0,258	51,50	0,1648	51,7	66,4	0,26	1	1,105
Alm											
	%	S	Observaciones							Resultado	OK

32G		POTENCIA INVERSA DATOS DE LA PROTECCIÓN RESPALDO U. G-3									
		UMBRAL DE ACTIVACIÓN								TIEMPO DE RESPUESTA	
AJUSTES			ESPERADO				FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERAD O	OPERACIÓ N
N	TAP =	t	f	l sec	W sec	MW	W sec	V sec	l sec	S	S
Disp	6	1	66,4	0,258	51,50	0,1648	51,792	66,4	0,26	1	1,1501
Alm											
	%	S	Observaciones							Resultado	OK

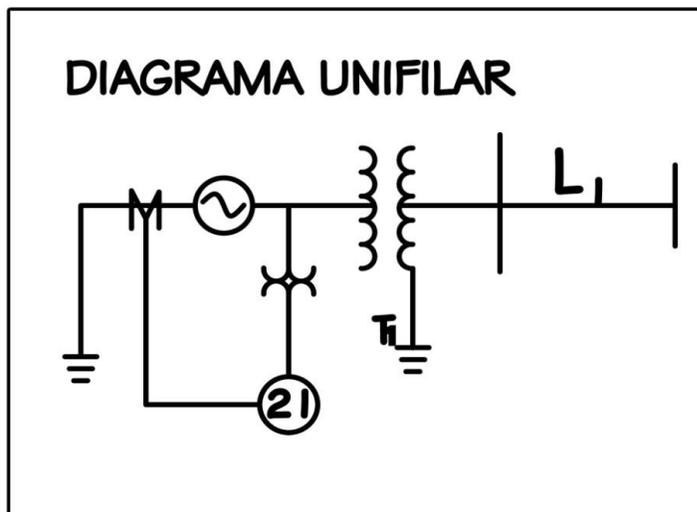
Fuente: elaboración propia.

### 3.8.4.6. Protección de distancia 21

Para detectar una anomalía en un sistema eléctrico de potencia, es necesario medir la impedancia o reactancia, en un punto dado, a las protecciones que actúan bajo este principio se les denomina direccionales de distancia y se emplean principalmente en protección de líneas de transmisión. El ajuste de esta protección se realiza para que vea fallas en el bus más cercano, en este caso, corresponde a un extremo de las líneas que van a la subestación.

A continuación Diagrama Unifilar

Figura 18. Diagrama Unifilar



Fuente: elaboración propia.

Datos del sistema:

T1:  $Z_T = 7,38 \% \text{ A } 10 \text{ MVA}$

$$\begin{aligned} \text{Rel} &= 2,4 / 69 \text{ KV} \\ \text{Conexión} & \text{ delta / estrella} \\ \text{L1:Z1} &= 10 \angle 74^\circ \Omega \\ \text{Z0} &= 33,7 \angle 75^\circ \Omega \end{aligned}$$

Criterios de alcances: si existen 3 zonas de protección:

- Zona 1: 50 % de la ZT a 0,5 segundos
- Zona 2: 100 % de ZT más 50 % de Z1L3
- Zona 3: 150 % de la potencia nominal de la máquina por 3 segundos

En este caso, las características de operación, son tipo Mho en las tres zonas y por ser la tensión de operación muy baja, se recomienda un ángulo de par máximo de  $60^\circ$ , para cada una de las zonas.

Impedancias:

$$\begin{aligned} S_B &= 10 \text{ MVA} \\ K_{VB} &= V.4 \text{ KV} \\ I_B &= 2\,406 \text{ amperes} \\ Z_B &= 0,576 \Omega \\ X_{1T_{pu}} &= 0,0738 \text{ pu} \\ X_{1T_\Omega} &= 0,0738 (0.576) \\ X_{1T_\Omega} &= 0,0425 \Omega \text{ prim en } 2.4 \text{ KV} \end{aligned}$$

Alcances:

$$\begin{aligned} Z_{\text{zona1}} &= 0,5 (0,0425) \\ &= 0,02125 \angle 90^\circ \Omega \text{ prim en } V.4 \text{ KV} \end{aligned}$$

$$Z \text{ Línea 3} = 10 \angle 74^\circ \text{ prim en 69 KV}$$

$$\text{Línea 3 visto en 2,4 KV}$$

$$Z_{69} = Z_{2.4} [V_{69} / V_{2.4}]^2$$

$$Z_{69} = Z_{2.4} [69 / 2,4]^2$$

$$Z_{69} = Z_{2.4} [28,75]^2$$

$$Z_{69} = Z_{2.4} [826,56]$$

$$Z \text{ Línea 3 en 2,4 KV} = 10 \angle 74^\circ \Omega / 826,56$$

$$Z \text{ Línea 3 en 2,4 KV} = 0,0121 \angle 74^\circ \Omega$$

$$Z \text{ zona2} = j 0,0425 + 0,5 (0,0121 \angle 74^\circ)$$

$$Z \text{ zona2} = j 0,0425 + (0,00605 \angle 74^\circ)$$

$$Z \text{ zona2} = j 0,0425 + 0,0017 + 0,0058$$

$$Z \text{ zona2} = 0,0017 + j 0,00483$$

$$Z \text{ zona2} = 0,0483 \angle 88^\circ \Omega \text{ primarios}$$

$$Z \text{ zona3} = 150 \% P_{\text{nominal}}$$

$$S_{\text{nominal}} = 2,73 \text{ MVA}$$

$$Z_{\text{nominal}} = V_{\text{nom}} / I_{\text{nom}}$$

$$Z_{\text{nominal}} = 2300 / (\sqrt{3})690$$

$$Z_{\text{nominal}} = 1,924 \Omega \text{ prim en 2,4 Kv}$$

$$Z \text{ zona 3} = 1,924 / 1,5$$

$$Z \text{ zona 3} = 1,282 \Omega \text{ prim en 2,4 KV}$$

Ohms secundarios:

$$RTC / RTP = 160 / 20$$

$$RTC / RTP = 8$$

$$Z \text{ zona1} = 0,02125 \angle 90^\circ \Omega \text{ primarios}$$

$$Z \text{ zona1} = (0,02125 \angle 90^\circ) (8,0)$$

Z zona1 = 0,17  $\perp$  90°  $\Omega$  secundarios

Z zona1 = 0,17 / sen60°

Z zona1 = (0,1963  $\perp$  60°)

Z zona1 = 0,2  $\perp$  60°

T1op = 0,5 segundos

Z zona2 = 0,0483  $\perp$  88°  $\Omega$  primarios

Z zona2 = (0,0483  $\perp$  88°) (8,0)

Z zona2 = 0,3864  $\perp$  88°  $\Omega$  secundarios

Z zona2 = 0,3864 / sen60°

Z zona2 = 0,45  $\perp$  60°

T2op = 1,5 segundos

Z zona 3 = (1,282) (8.0)

Z zona 3 = 10,0  $\perp$  60° sec

T3op = 3,0 segundos

En la tabla a continuación se detalla las características correspondientes a las pruebas relevadores de distancia 21.

Tabla XIII. Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador. Protección de distancia 21

PRUEBAS A RELEVADORES DE DISTANCIA													
DATOS GENERALES DE LA INSTALACION													
EMPRESA	INDE	UNIDAD	G-1	KV =	2.3							PROTECCIÓN	
AREA/DIV.	EGEE	MVA	2.73	Inom	690 A							PRINCIPAL	
PLANTA	Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20								
UBICACIÓN	Zumil Quetzaltenango, Guatemala										RTC =	160	
DATOS DE LA PROTECCIÓN		MARCA:	BECKWITH	MODELO:	M-3425A							SECCIÓN:	1
		TIPO:	12545	SERIE:	7609							PRUEBAS:	P.S.
<b>21F</b>													
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ALCANCE													
ZONA			VALORES DE PRUEBA			VOLTAJE DE OPERACIÓN						RESUL-TADOS	
AJUSTES			°	Ω	V esperado	I prueba	AB	BC	CA	TIEMPO DE OFER.(SEG)			
Diam=	0.2	0	0.1	2.4	12	2.88	2.472	2.172	0.521	OK			
Ang=	60	30	0.17	4.15	12	4.368	4.152	4.128	0.519	OK			
Desp=	0	60	0.2	4.8	12	4.08	3.72	3.936	0.519	OK			
Top1=	30	90	0.17	4.15	12	3.432	3.144	3.672	0.52	OK			
		270	0.17	4.08	12	No opera	No opera	No opera		OK			
Diam=	0.4	0	0.2	4	10	4.3	4.1	4.3	1.525	OK			
Ang=	60	30	0.35	6.92	10	6.9	7.1	6.9	1.54	OK			
Desp=	0	60	0.4	8	10	7.78	7.38	7.38	1.528	OK			
Top1=	90	90	0.35	6.92	10	6.56	6.54	6.54	1.526	OK			
		270	0.35	8.66	10	No opera	No opera	No opera		OK			
Diam=	10	0	5	50	5	50.31	50.31	50.31	3.032	OK			
Ang=	60	30	8.66	86.65	5	86.32	86.32	86.32	3.025	OK			
Desp=	0	60	10	100	5	99.37	99.99	99.37	3.03	OK			
Top1=	180	90	8.66	86.65	5	86.32	86.86	86.32	3.022	OK			
		270	8.66	86.65	5	No opera	No opera	No opera		OK			
OBSERVACIONES													
VERIFICACION DE FUNCIONES													
CONFIG./ENTRADAS													
CONFIG./SALIDAS													
INDICACIÓN													

Continuación de la tabla XIII.

PRUEBAS A RELEVADORES DE DISTANCIA												
DATOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN												
EMPRESA	INDE	UNIDAD	G-2	KV =	2.3							PROTECCION
AREA/DIV.	EGEE	MVA	2.73	Inom =	690 A							PRINCIPAL
PLANTA	Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20							
UBICACIÓN	Zúnil Quetzaltenango, Guatemala			RTC =	160							
DATOS DE LA PROTECCIÓN		MARCA:	BECKWITH	MODELO:	M-3425A	SECCIÓN:		2				
		TIPO:	12545	SERIE:	7609	PRUEBAS:		P.S.				
<b>21F</b>												
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ALCANCE												
ZONA	AJUSTES	VALORES DE PRUEBA					VOLTAJE DE OPERACIÓN					RESULTADOS
		°	Ω	V esperado	I prueba		AB	BC	CA	CA	TIEMPO DE OPER.(SEG)	
1	Diam=	0.2	0.1	2.4	12	2.88	2.472	2.172	2.172	0.521	OK	
	Ang=	60	0.17	4.15	12	4.368	4.152	4.128	4.128	0.519	OK	
	Desp=	0	0.2	4.8	12	4.08	3.72	3.936	3.936	0.519	OK	
	Top1=	30	0.17	4.15	12	3.432	3.144	3.672	3.672	0.52	OK	
2	Diam=	0.4	0.2	4	10	No opera	No opera	No opera	No opera		OK	
	Ang=	60	0.35	6.92	10	6.9	7.1	6.9	6.9	1.525	OK	
	Desp=	0	0.4	8	10	7.78	7.38	7.38	7.38	1.54	OK	
	Top1=	90	0.35	6.92	10	6.56	6.54	6.54	6.54	1.528	OK	
3	Diam=	10	0.35	8.66	10	No opera	No opera	No opera	No opera		OK	
	Ang=	60	5	50	5	50.31	50.31	50.31	50.31	3.032	OK	
	Desp=	0	8.66	86.65	5	86.32	86.32	86.32	86.32	3.025	OK	
	Top1=	180	10	100	5	99.37	99.99	99.37	99.37	3.03	OK	
											OK	
OBSERVACIONES												
VERIFICACIÓN DE FUNCIONES												
CONFIG./ENTRADAS												
CONFIG./SALIDAS												
INDICACIÓN												

Continuación de la tabla XIII.

PRUEBAS A RELEVADORES DE DISTANCIA												
DATOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN												
EMPRESA	INDE	UNIDAD	G-3	KV =	2.3							PROTECCIÓN
AREA/DIV.	EGEE	MVA	2.73	Inom =	690 A							PRINCIPAL
PLANTA	Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20							
UBICACIÓN	Zunil Quetzaltenango, Guat			RTC =	160							
DATOS DE LA PROTECCIÓN		MARCA:	BECKWITH	MODELO:	M-3425A	SECCIÓN:		3				
		TIPO:	12545	SERIE:	7601	PRUEBAS:		P.S.				
<b>21F</b>												
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ALCANCE												
ZONA	AJUSTES	VALORES DE PRUEBA					VOLTAJE DE OPERACIÓN					RESUL- TADOS
		°	Ω	V esperado	I prueba	AB	BC	CA	TIEMPO DE OPER. (SEG)			
1	Diam=	0.2	0	0.1	2.4	12	2.71	2.71	2.59	0.528	OK	
	Ang=	60	30	0.17	4.08	12	4.13	4.22	4.13	0.531	OK	
	Desp=	0	60	0.2	4.8	12	3.84	3.98	3.86	0.517	OK	
	Top1=	30	90	0.17	4.08	12	3.41	4.46	3.26	0.516	OK	
2	Diam=	0.4	0	0.2	4	10	4.1	4.1	4.18	1.536	OK	
	Ang=	60	30	0.35	6.92	10	6.92	7.28	7.06	1.539	OK	
	Desp=	0	60	0.4	8	10	7.4	7.78	7.56	1.538	OK	
	Top1=	90	90	0.35	6.92	10	6.56	6.56	6.56	1.539	OK	
3	Diam=	10	270	0.35	8.66	10	No opera	No opera	No opera	OK		
	Ang=	60	30	5	50	5	49.69	49.69	49.53	3.027	OK	
	Desp=	0	60	8.66	86.65	5	86.33	85.79	86.59	3.034	OK	
	Top1=	180	90	10	100	5	99.37	99.37	100.03	3.027	OK	
			270	8.66	86.65	5	86.86	86.33	86.59	3.031	OK	
OBSERVACIONES												
VERIFICACION DE FUNCIONES												
CONFIG/ENTRADAS												
CONFIG/SALIDAS												
INDICACIÓN												

Fuente: Central Hidroeléctrica Santa María.

### 3.8.4.7. Protección diferencial 87G

Las protecciones diferenciales, basan el funcionamiento en la comparación de las corrientes que entran y salen de un equipo, por lo tanto, resulta ser eminentemente selectiva, ya que no responde a fallas que no estén comprendidas entre los dos juegos de transformadores de corriente.

- Datos del generador
- Capacidad 2.73 MVA
- Tensión de operación: 2.3 KV
- Corriente nominal: 690 A
- $RTC1 = RTC2 \ 160 / 5$

Para generadores, los TC's de ambos extremos de los devanados deben tener las mismas relaciones y las mismas clases de protecciones. Corriente de corto circuito subtransitorio.

#### Evaluación de RTC's

Por carga:

$$I_s = 690 / 160$$

$$I_s = 4,312 \text{ A sec}$$

Por falla

$$I_s = 3\ 576 / 160$$

$$I_s = 22,35 \text{ A sec}$$

Para el caso de generadores, si se usan relevadores diferenciales de porcentaje, la pendiente puede ser de 10 al 20 %. En este caso, en virtud de que los TC's de salida serán nuevos y los de neutro, los ya existentes, se usará una pendiente de 15 %. La corriente mínima de operación, se puede tomar como un 10 % a 20 % de la corriente nominal. Se tomará el valor de 20 %

$I_{min} = 0,2 (690) = 138 \text{ A}$ , primarios

$I_{sec} = 138 / 160 = 0,86 \text{ A}$ , secundarios

Tabla XIV. Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador. Protección diferencial 87G

PRUEBAS A RELEVADORES DIFERENCIALES DE GENERADOR											
DATOS GENERALES DE INSTALACIÓN											
EMPRESA	SANTA MARIA										
AREA/DIV	Zunil, Quezaltenango, Guatemala										
INDE	PRIMARIA										
EGEE	PROT										
EQUIPO PROTEGIDO			TRANSFORMADOR DE CORRIENTE								
CAPACIDAD	Kynom	CONEXIÓN	LADO	RTC	CONEX	In. sec	In 87				
2.73	2.3	ESTRELLA	POLARIDAD	160	ESTR	4.31	4.31				
MVA	KV		NEUTRO	160	ESTR	4.31	4.31				
DATOS DE LA PROTECCIÓN			MODELO:	M-3425A	SECCIÓN:	1					
<b>87G</b>	MARCA:	BECKWITH	SERIE:	7609	PRUEBAS:	P.S.					
AJUSTES			RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CORRIENTE MINIMA								
$I_{min} 1$	0.86	A	11: POLARIDAD			12: NEUTRO			TIEMPO OPER.		
$I_{min} V$	0.86	A	11: A	11: B	11: C	11: a	11: b	11: c			
$I_{min} =$	0.2	Inom	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.03		
AJUSTES			RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PENDIENTE								
Pend. 1	0.15 PU	Devanado	FASES	BALANCE	ESPER.	REAL	$I_{pu}$	IDIF	IREST	PEND	
Prueba a	8.18 x $I_{min}$	11: POL	A-B	7	7	7	8.18	1.32	8.84	0.15	
		12: neut	a-b	7	8.14	8.133	9.5				
		11: POL	B-C	7	7	7	8.18	1.3	8.83	0.15	
		12: neut	b-c	7	8.14	8.11	9.47				
		11: POL	C-A	7	7	7	8.18	1.3	8.83	0.15	
		12: neut	c-a	7	8.14	8.11	9.47				
VERIFICACION DE FUNCIONES			RESULTADO DE LAS PRUEBAS:								
CONFIG./ ENTRDAS	OBSERVACIONES										
CONFIG./ SALIDAS	La prueba se hizo con valores de $I_{diff}$ mayores a 0.86 y valores de $I_{rest}$ menores a $2I_{nom}$ para probar la pendiente correctamente, ya que fuera de estos rangos hay que tomar otras consideraciones de acuerdo al manual del relevador.										
INDICACIÓN											

Continuación de la tabla XIV.

PRUEBAS A RELEVADORES DIFERENCIALES DE GENERADOR											
DATOS GENERALES DE INSTALACIÓN											
EMPRESA	INDE	SANTA MARIA									
AREA/DIV	EGEE	SUBESTACION	Zunil Queizaltenango, Guatemala								
		UBICACIÓN	PRIMARIA								
EQUIPO PROTEGIDO											
CLAVE G-3 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE											
CAPACIDAD	Kvnom	CONEXIÓN	LADO	RTC	CONEX	I n. sec	In 87				
2.73	2.3	ESTRELLA	POLARIDAD	160	ESTR	4.31	4.31				
IMVA	KV		NEUTRO	160	ESTR	4.31	4.31				
<b>87G</b>	DATOS DE LA PROTECCION	BECKWITH	MODELO:	M-3425A	SECCIÓN:	3					
	TIPO:	12545	SERIE:	7601	PRUEBAS:	P. S.					
AJUSTES											
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CORRIENTE MINIMA											
Imin 1	0.86	A	CORRIENTE ESPERADA		I1: A	I1: B	I1: C	I1: a	I1: b	I1: c	TIEMPO OPER.
Imin 2	0.86	A			0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.03
Imin =	0.2	Inom									
AJUSTES											
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PENDIENTE											
Pend. 1	0.15 PU	Devanado	FASES	BALANCE	ESPER.	REAL	Ipu	IDIF	IREST	PEND	
Prueba a	8.18 x Imin	I1: POL	A-B	7	7	7	8.18	1.34	8.85	0.15	
		I2: neut	a-b	7	8.14	8.146	9.52				
		I1: POL	B-C	7	7	7	8.18	1.34	8.85	0.15	
		I2: neut	b-c	7	8.14	8.146	9.52				
		I1: POL	C-A	7	7	7	8.18	1.34	8.85	0.15	
		I2: neut	c-a	7	8.14	8.143	9.51				
VERIFICACION DE FUNCIONES											
RESULTADO DE LAS PRUEBAS:											
CONFIG./ ENTRADAS	OBSERVACIONES										
CONFIG./ SALIDAS	La prueba se hizo con valores de Idiff mayores a 0.86 y valores de Irest menores a 2Inom para probar la pendiente correctamente, ya que fuera de estos rangos hay que tomar otras consideraciones de acuerdo al manual del relevador.										
INDICACIÓN											

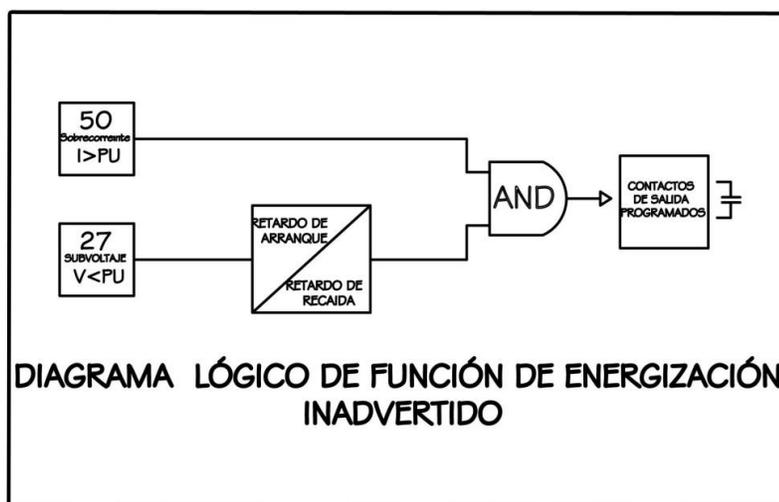
Fuente: Central Hidroeléctrica Santa María.

### 3.8.4.8. Protección contra energización inadvertida 50 / 27

La función de la protección de energización inadvertida (50/27) del relevador, es una función de sobre corriente supervisada por el voltaje de bus, en terminales del generador. Le energización accidental o inadvertida de generadores fuera de línea, ha ocurrido con bastante frecuencia, que se ha hecho obligado incluir esta función en el esquema de protección.

Cuando un generador se energiza accidentalmente desde el sistema de potencia, se acelerará igual que un motor de inducción. Mientras la máquina está acelerando, se inducen grandes corrientes en el rotor, que pueden causar daños significativos en cuestión de segundos. La lógica de sobrecorriente supervisada por voltaje será diseñada para proporcionar esta protección.

Figura 19. Diagrama lógico de la función de energización inadvertida



Fuente: elaboración propia.

Esta protección es muy sencilla y no requiere coordinarse con ninguna otra. El típico ajuste del *pick up* de corriente de arranque es de 0.5 A y está habilitada, mientras el generador está fuera de línea.

El propósito del detector de bajo voltaje, es determinar si la unidad está conectada al sistema. El nivel de voltaje típico para el ajuste es de 50 % de voltaje nominal.

Tiempos de armado y desarmado: 3 ciclos

Ajustes:

Activación 50 = 0.5 A

Activación 27 = 33 V

Retardo armado = 3 ciclos

Retardo desarmado = 3 ciclos

Tabla XV. **Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador**

50/27			ENERGIZACIÓN INADVERTIDA DATOS DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U. G-1							
			UMBRAL DE ACTIVACION					TIEMPO DE RESPUESTA		
AJUSTES			ESPERADO		DE OPERACIÓN				ESPERADO	OPERACIÓN
N	V	A	V sec	I sec	V pr	Ia	Ib	Ic	S	S
Disp	33	0,5	33	0,5	32,78	0,49	0,49	0,49	0	0,04
Alm										
	Volt	Amp	Observac.						Resultado	OK

Continuación de la tabla XV.

50/27		ENERGIZACION INADVERTIDA DATOS DE LA PROTECCIÓN RESPALDO U. G-1								
		UMBRAL DE ACTIVACION							TIEMPO DE RESPUESTA	
AJUSTES			ESPERADO		DE OPERACIÓN				ESPERADO	OPERACIÓN
N	V	A	V sec	I sec	V pr	Ia	Ib	Ic	S	S
Disp	33	0,5	33	0,5	32,83	0,495	0,495	0,495	0	0,05
Alm										
	Volt	Amp	Observaciones						Resultado	OK

50/27		ENERGIZACION INADVERTIDA DATOS DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U. G-2								
		UMBRAL DE ACTIVACIÓN							TIEMPO DE RESPUESTA	
AJUSTES			ESPERADO		DE OPERACIÓN				ESPERADO	OPERACIÓN
N	V	A	V sec	I sec	V pr	Ia	Ib	Ic	S	S
Disp	33	0,5	33	0,5	32,78	0,49	0,49	0,49	0	0,04
Alm										
	Volt	Amp	Observaciones						Resultado	OK

50/27		ENERGIZACION INADVERTIDA DATOS DE LA PROTECCIÓN RESPALDO U. G-2								
		UMBRAL DE ACTIVACIÓN							TIEMPO DE RESPUESTA	
AJUSTES			ESPERADO		DE OPERACIÓN				ESPERADO	OPERACIÓN
N	V	A	V sec	I sec	V pr	Ia	Ib	Ic	S	S
Disp	33	0,5	33	0,5	32,83	0,495	0,495	0,495	0	0,05
Alm										
	Volt	Amp	Observaciones						Resultado	OK

50/27		ENERGIZACION INADVERTIDA DATOS DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U. G-3								
		UMBRAL DE ACTIVACIÓN							TIEMPO DE RESPUESTA	
AJUSTES			ESPERADO		DE OPERACIÓN				ESPERADO	OPERACIÓN
N	V	A	V sec	I sec	V pr	Ia	Ib	Ic	S	S
Disp	33	0,5	33	0,5	30	0,501	0,501	0,501	0	0,115
Alm										
	Vot	Amp	Observaciones						Resultado	OK

Continuación de la tabla XV.

50/27			ENERGIZACION INADVERTIDA DATOS DE LA PROTECCIÓN RESPALDO U. G-3							
			UMBRAL DE ACTIVACIÓN				TIEMPO DE RESPUESTA			
AJUSTES			ESPERADO		DE OPERACIÓN				ESPERADO	OPERACIÓN
N	V	A	V sec	I sec	V pr	Ia	Ib	Ic	S	S
Disp	33	0,5	33	0,5	32,928	0,504	0,504	0,504	0	0,05
Alm										
	Volt	Amp	Observaciones						Resultado	OK

Fuente: elaboración propia.

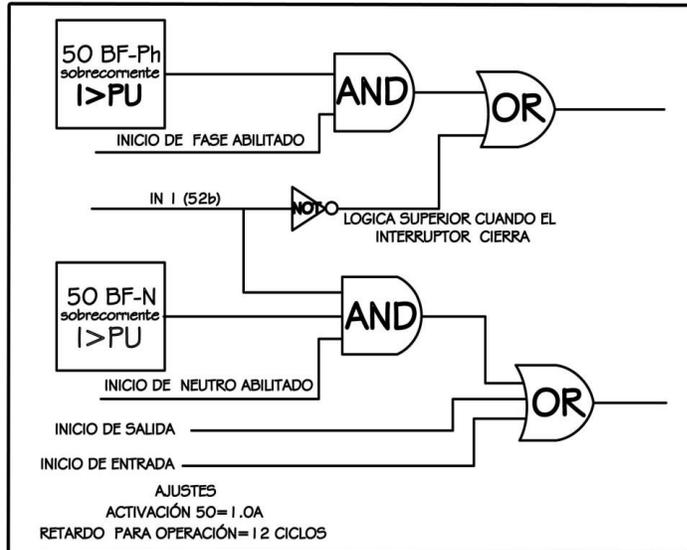
#### 3.8.4.9. Falla de interruptor 50FI

La condición de falla de interruptor, normalmente es detectada por la presencia continua de corriente en una o más fases después de que se ha dado la orden de disparo del interruptor por alguna protección primaria.

Sin embargo, para interruptores de generador, las fallas y condiciones de operación normal, tales como fallas a tierra, sobre-excitación, sobre/baja frecuencia y potencia inversa, podrían no producir la suficiente corriente para operar los detectores de corriente. Por esta razón, además de la detección de corriente, se debe usar la entrada del contacto 52b de estado del interruptor, para complementar la lógica de operación del esquema de falla de interruptor (50FI).

La implementación de la función de falla de interruptor del generador, es ilustrada en la siguiente figura.

Figura 20. Diagrama falla de interruptor



Fuente: elaboración propia.

Ajustes:

Activación 50 = 1,0 A

Retardo para operación = 12 ciclos

Tabla XVI. Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador

50FI		FALLO DE INTERRUPTOR LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U. G-1							DATOS DE	
		UMBRAL DE ACTIVACION			TIEMPO DE RESPUESTA				ESPERADO	OPERACIÓN
AJUSTES		ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			S		
Niv	TAP =	t	I sec (A)	I prim (A)	tiempo (s)	Ia	Ib		Ic	S
Fase	1	0,3	1	160	0,30	1,03	1,03	1,03	0,300	0,309
Neutro									5	5,03
	A	S	Observac.						Resultado	OK

Continuación de la tabla XVI.

50FI			FALLO DE INTERRUPTOR DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U. G-2							DATOS	
			UMBRAL DE ACTIVACIÓN				FRECUENCIA DE OP. (HZ)			TIEMPO DE RESPUESTA	
AJUSTES			ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN	
Niv	TAP =	t	I sec (A)	I prim (A)	tiempo (s)	Ia	Ib	Ic	S	S	
Fase	1	0,3	1	160	0,30	1,03	1,03	1,03	0,300	0,309	
Neutro									5	5,03	
	A	S	Observac.						Resultado	OK	

50FI			FALLO DE INTERRUPTOR DATOS DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U. G-3								
			UMBRAL DE ACTIVACION				FRECUENCIA DE OP. (HZ)			TIEMPO DE RESPUESTA	
AJUSTES			ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN	
Niv	TAP =	t	I sec (A)	I prim (A)	tiempo (s)	Ia	Ib	Ic	S	S	
Fase	1	0,3	1	160	0,3	1,0	1,0	1,01	0,300	0,298	
Neutro											
	A	S	Observaciones						Resultado	OK	

Fuente: elaboración propia.

### 3.8.4.10. Bajo voltaje 27

Esta función no se usa para disparo, por lo tanto, se ajustará al 90 % de la tensión nominal, únicamente para alarma.

Tabla XVII. **Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador, bajo voltaje 27**

27		BAJO VOLTAJE DATOS DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U. G-1								
		UMBRAL DE ACTIVACIÓN						TIEMPO DE RESPUESTA		
AJUSTES			ESPERADO			VOLTAJES DE OPERACIÓN			ESPERADO	OPERACIÓN
N	TAP=	t	V sec (V)	V prim (KV)	tiempo (s)	Va	Vb	Vc	S	S
Disp										
Alm	59	1	59	1,18	1,00	59	59	59	1	1,145
	A	S	Observaciones: solo quedó programado como señalización						Resultado	OK

27		BAJO VOLTAJE DATOS DE LA PROTECCIÓN RESPALDO U. G-1								
		UMBRAL DE ACTIVACION						TIEMPO DE RESPUESTA		
AJUSTES			ESPERADO			VOLTAJES DE OPERACIÓN			ESPERADO	OPERACIÓN
N	TAP=	t	V sec (V)	V prim (KV)	tiempo (s)	Va	Vb	Vc	S	S
Disp										
Alm	59	1	59	1,18	1	59	59	59	1	1,177
	A	S	Observaciones: solo quedó programado como señalización						Resultado	OK

27		BAJO VOLTAJE DATOS DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U. G-2								
		UMBRAL DE ACTIVACIÓN						TIEMPO DE RESPUESTA		
AJUSTES			ESPERADO			VOLTAJES DE OPERACIÓN			ESPERADO	OPERACIÓN
N	TAP=	t	V sec (V)	V prim (KV)	tiempo (s)	Va	Vb	Vc	S	S
Disp										
Alm	59	1	59	1,18	1,00	59	59	59	1	1,145
	A	S	Observaciones: solo quedó programado como señalización						Resultado	OK

Continuación de la tabla XVII.

27		BAJO VOLTAJE DATOS DE LA PROTECCIÓN RESPALDO U. G-2								
		UMBRAL DE ACTIVACIÓN						TIEMPO DE RESPUESTA		
AJUSTES			ESPERADO			VOLTAJES DE OPERACIÓN			ESPERADO	OPERACIÓN
N	TAP =	t	V sec (V)	V prim (KV)	tiempo (s)	Va	Vb	Vc	S	S
Disp										
Alm	59	1	59	1,18	1	59	59	59	1	1,177
	A	S	Observaciones: solo quedó programado como señalización						Resultado	OK

27		BAJO VOLTAJE DATOS DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U. G-3								
		UMBRAL DE ACTIVACIÓN						TIEMPO DE RESPUESTA		
AJUSTES			ESPERADO			VOLTAJES DE OPERACIÓN			ESPERADO	OPERACIÓN
N	TAP =	t	V sec (V)	V prim (KV)	tiempo (s)	Va	Vb	Vc	S	S
Disp										
Alm	59	1	59	1,18	1.00	59	59	59	1	1,094
	A	S	Observaciones: solo quedó programado como señalización						Resultado	OK

27		BAJO VOLTAJE DATOS DE LA PROTECCIÓN RESPALDO U. G-3								
		UMBRAL DE ACTIVACIÓN						TIEMPO DE RESPUESTA		
AJUSTES			ESPERADO			VOLTAJES DE OPERACIÓN			ESPERADO	OPERACIÓN
N	TAP =	t	V sec (V)	V prim (KV)	tiempo (s)	Va	Vb	Vc	S	S
Disp										
Alm	59	1	59	1,18	1	59	59	59	1	1,181
	A	S	Observaciones: solo quedó programado como señalización						Resultado	OK

Fuente: elaboración propia.

### **3.8.4.11. Pérdida de fusible 60**

Cuando en condiciones normales de operación, un fusible del transformador de tensión se funde, algunas funciones de la protección, podrían operar incorrectamente. La función 60FL, puede detectar la pérdida de uno, dos o los tres potenciales del relevador, para bloquear las funciones que podrían operar.

Funciones típicas para bloquear sobre el evento de pérdida de potencial son 21, 27, 32, 40 51V y 81.

El tiempo de retardo para bloqueo de las protecciones, deberá estar por encima de los tiempos de libramientos de fallas, por estas mismas protecciones:

Ajustes:

Retardo para operación = 72 ciclos

Es el tiempo de operación del relevador, cuando existe una pérdida de potencial. No se realiza una prueba específica con alguna maleta de pruebas.

### **3.8.4.12. Sobretensión 59**

Esta función tendría los mismos ajustes que los obtenidos para la función 24, solo que esta será para tensión de secuencia positiva.

1° escalón:

$$V_1 \text{ op} = 105 \% (V_{nom})$$

$$V_1 \text{ op} = 1,05 (2300)$$

$$\begin{aligned}V_1 \text{ op} &= 2\,415 \text{ V} \\V_1 \text{ op} &= 2\,415 / 20 \text{ V} \\V_1 \text{ op} &= 120,75 \text{ Vsec} \\t_1 &= 10 \text{ segundos}\end{aligned}$$

2° escalón:

$$\begin{aligned}V_2 \text{ op} &= 108 \% (V_{\text{nom}}) \\V_2 \text{ op} &= 1,08 (2300) \\V_2 \text{ op} &= 2\,484 \text{ V} \\V_2 \text{ op} &= 2\,484 / 20 \text{ V} \\V_2 \text{ op} &= 124,2 \text{ Vsec} \\T_2 &= 10 \text{ segundos}\end{aligned}$$

3° escalón:

$$\begin{aligned}V_2 \text{ op} &= 112 \% (V_{\text{nom}}) \\V_2 \text{ op} &= 1,12 (2300) \\V_2 \text{ op} &= 2\,576 \text{ V} \\V_2 \text{ op} &= 2\,576 / 20 \text{ V} \\V_2 \text{ op} &= 128,8 \text{ Vsec} \\T_2 &= 1 \text{ segundos}\end{aligned}$$

Nota: observando los datos de placa de las unidades, se encuentra que la tensión de diseño es de 2 300 V con una tolerancia de más, menos 5 %, sin embargo, las unidades han estado operando a 2 400 V, como la tensión nominal. Esto representa una sobretensión permanente en las unidades que pudiera resultar perjudicial para las mismas.

$$\text{Sobretensión} = 2\,400 - 2\,300$$

Sobretensión = 1,043

Lo cual representa una sobretensión de 4,3 % de manera permanente. Por esta razón el primer escalón de la protección, solo producirá alarma, mientras que el segundo y el tercer escalón, si producirán disparo.

Tabla XVIII. **Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador sobrevoltaje**

59P		SOBREVOLTAJE DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U.G-1								DATOS	
AJUSTES		UMBRAL DE ACTIVACIÓN				DE OPERACIÓN				TIEMPO DE RESPUESTA	
N	TAP =	t	f	V sec	KV prim	Va	Vb	Vc	S	S	
Disp	112	1	60	74	1,48	74	74	74	1	1,004	
Disp	108	10	60	71	1,42	71	71	71	10	10,009	
Alm	105	10	60	69	1,38	69	69	69	10	10,015	
	%	S	Observaciones: el nivel de alarma quedó como señalización						Resultado	OK	

59P		SOBREVOLTAJE DATOS DE LA PROTECCIÓN RESPALDO U.G-1									
AJUSTES		UMBRAL DE ACTIVACIÓN				FRECUENCIA DE OP. (HZ)				TIEMPO DE RESPUESTA	
N	TAP =	t	f	V sec	KV prim	Va	Vb	Vc	S	S	
Disp	112	1	60	74	1,48	74	74	74	1	0,999	
Disp	108	10	60	71	1,42	71	71	71	10	10,001	
Alm	105	10	60	69	1,38	69,2	69,2	69,2	10	9,948	
	%	S	Observaciones: el nivel de alarma quedo como señalización						Resultado	OK	

Continuación de la tabla XVIII.

59P		SOBREVOLTAJE DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U.G-2								DATOS	
		UMBRAL DE ACTIVACION						TIEMPO DE RESPUESTA			
AJUSTES			ESPERADO			DE OPERACIÓN			ESPERADO	OPERACIÓN	
N	TAP =	t	f	V sec	KV prim	Va	Vb	Vc	S	S	
Disp	112	1	60	74	1,48	74	74	74	1	1,004	
Disp	108	10	60	71	1,42	71	71	71	10	10,009	
Alm	105	10	60	69	1,38	69	69	69	10	10,015	
	%	S	Observaciones: el nivel de alarma quedo como señalización						Resultado	OK	

59P		SOBREVOLTAJE DATOS DE LA PROTECCIÓN RESPALDO U.G-2									
		UMBRAL DE ACTIVACION						TIEMPO DE RESPUESTA			
AJUSTES			ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN	
N	TAP =	t	f	V sec	KV prim	Va	Vb	Vc	S	S	
Disp	112	1	60	74	1,48	74	74	74	1	0,999	
Disp	108	10	60	71	1,42	71	71	71	10	10,001	
Alm	105	10	60	69	1,38	69,2	69,2	69,2	10	9,948	
	%	S	Observaciones: el nivel de alarma quedo como señalización						Resultado	OK	

59P		SOBREVOLTAJE DATOS DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U.G-3									
		UMBRAL DE ACTIVACION						TIEMPO DE RESPUESTA			
AJUSTES			ESPERADO			DE OPERACIÓN			ESPERADO	OPERACIÓN	
N	TAP =	t	f	V sec	KV prim	Va	Vb	Vc	S	S	
Disp	112	1	60	74	1,48	74,1	74,1	74,1	1	1,008	
Disp	108	10	60	71	1,42	71,1	71,1	71,1	10	9,959	
Alm	105	10	60	69	1,38	69,1	69,1	69,1	10	10	
	%	S	Observaciones: el nivel de alarma quedo como señalización						Resultado	OK	

Continuación de la tabla XVIII.

59P		SOBREVOLTAJE DATOS DE LA PROTECCIÓN RESPALDO U.G-3								
		UMBRAL DE ACTIVACIÓN						TIEMPO DE RESPUESTA		
AJUSTES			ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN
N	TAP =	t	f	V sec	KV prim	Va	Vb	Vc	S	S
Disp	112	1	60	74	1,48	74	74	74	1	1,004
Disp	108	10	60	71	1,42	71	71	71	10	10,005
Alm	105	10	60	69	1,38	69,3	69,3	69,3	10	9,931
	%	S	Observaciones: el nivel de alarma quedo como señalización						Resultado	OK

Fuente: elaboración propia.

### 3.8.4.13. Frecuencia 81

Los ajustes para esta protección, se toman directamente de la gráfica de operación para generadores de la ANSI C37.106

Ajustes:

- Alarma 59 Hz, 60 segundos
- Disparo 58,5 Hz, 300 segundos
- Disparo 57,0 Hz, 1,0 segundos
- Disparo 61,0 Hz, 300 segundos

Tabla XIX. **Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador, frecuencia 81**

81			SOBRE Y BAJA FRECUENCIA DATOS DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U. G-1								
			UMBRAL DE ACTIVACIÓN						TIEMPO DE RESPUESTA		
AJUSTES			ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN	
N	TAP =	T	f	V sec	KV prim	Va	Vb	Vc	S	S	
Disp	61	300	61	66,4	1,328	61,1	61,1	61,1	300	300,015	
Disp	57	1	57	66,4	1,328	57	57	57	1	1,024	
Disp	58,5	300	58,5	66,4	1,328	58,5	58,5	58,5	300	300,023	
Alm	59	60	59	66,4	1,328	59	59	59	60	60,024	
	Hz	S	Observaciones: el nivel de alarma solo quedo como señalización						Resultado	OK	
81			SOBRE Y BAJA FRECUENCIA DATOS DE LA PROTECCIÓN RESPALDO U. G-1								
			UMBRAL DE ACTIVACION						TIEMPO DE RESPUESTA		
AJUSTES			ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN	
Niv	TAP =	t	f	V sec	KV prim	Va	Vb	Vc	S	S	
Disp	61	300	61	66,4	1,328	61	61	61	300	300,024	
Disp	57	1	57	66,4	1,328	57	57	57	1	1,02	
Disp	58,5	300	58,5	66,4	1,328	58,5	58,5	58,5	300	300,014	
Alm	59	60	59	66,4	1,328	59	59	59	60	60,012	
	Hz	S	Observaciones						Resultado	OK	
81			SOBRE Y BAJA FRECUENCIA DATOS DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U. G-2								
			UMBRAL DE ACTIVACIÓN						TIEMPO DE RESPUESTA		
AJUSTES			ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN	
N	TAP =	T	f	V sec	KV prim	Va	Vb	Vc	S	S	
Disp	61	300	61	66,4	1,328	61,1	61,1	61,1	300	300,015	
Disp	57	1	57	66,4	1,328	57	57	57	1	1,024	
Disp	58,5	300	58,5	66,4	1,328	58,5	58,5	58,5	300	300,023	
Alm	59	60	59	66,4	1,328	59	59	59	60	60,024	
	Hz	S	Observaciones: el nivel de alarma solo quedo como señalización						Resultado	OK	

Continuación de la tabla XIX.

81			SOBRE Y BAJA FRECUENCIA DATOS DE LA PROTECCIÓN RESPALDO U. G-2								
			UMBRAL DE ACTIVACIÓN					TIEMPO DE RESPUESTA			
AJUSTES			ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN	
Niv	TAP =	t	f	V sec	KV prim	Va	Vb	Vc	S	S	
Disp	61	300	61	66,4	1,328	61	61	61	300	300,024	
Disp	57	1	57	66,4	1,328	57	57	57	1	1,02	
Disp	58,5	300	58,5	66,4	1,328	58,5	58,5	58,5	300	300,014	
Alm	59	60	59	66,4	1,328	59	59	59	60	60,012	
	Hz	S	Observaciones					Resultado		OK	
81			SOBRE Y BAJA FRECUENCIA DATOS DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL U. G-3								
			UMBRAL DE ACTIVACIÓN					TIEMPO DE RESPUESTA			
AJUSTES			ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN	
N	TAP =	T	f	V sec	KV prim	Va	Vb	Vc	S	S	
Disp	61	300	61	66,4	1,328	61	61,1	61,1	300	300,019	
Disp	57	1	57	66,4	1,328	57	57	57	1	1,011	
Disp	58,5	300	58,5	66,4	1,328	58,6	58,6	58,6	300	300,004	
Alm	59	60	59	66,4	1,328	59,05	59,05	59,05	60	60,102	
	Hz	S	Observaciones: el nivel de alarma solo quedo como señalización					Resultado		OK	
81			SOBRE Y BAJA FRECUENCIA DATOS DE LA PROTECCIÓN RESPALDO U.G-3								
			UMBRAL DE ACTIVACIÓN					TIEMPO DE RESPUESTA			
AJUSTES			ESPERADO			FRECUENCIA DE OP. (HZ)			ESPERADO	OPERACIÓN	
Niv	TAP =	t	f	V sec	KV prim	Va	Vb	Vc	S	S	
Disp	61	300	61	66,4	1,328	61	61	61	300	300,01	
Disp	57	1	57	66,4	1,328	57	57	57	1	1,021	
Disp	58,5	300	58,5	66,4	1,328	58,5	58,5	58,5	300	300,015	
Alm	59	60	59	66,4	1,328	59	59	59	60	60,018	
	Hz	S	Observaciones					Resultado		OK	

Fuente: elaboración propia.

#### 3.8.4.14. Sobrecorriente 51V

La función de sobrecorriente de tiempo inverso, puede ser de voltaje controlado (VC), voltaje restringido (VR). Para operación con voltaje controlado, la función no está activa, a menos que el voltaje este abajo del punto de ajuste del voltaje de control. Esta filosofía es usada para confirmar que la sobrecorriente, sea debido a una falla en el sistema.

La corriente del generador para una falla trifásica, es menor para un generador sin carga con el regulador fuera de servicio. Esta es la peor condición usada para ajustar estos dos tipos de relés. Para un relé controlado por tensión, el ajuste de *pick up*, debe estar entre 30 %, 40 % de la corriente de plena carga.

Con la corriente de falla calculada con anterioridad se calcula.

$$\text{Corriente min} = I_{cc3F}/2$$

$$\text{Corriente min} = 510/2$$

$$\text{Corriente min} = 255 \text{ A}$$

$$I_{\text{min arr}} = 255/160 = 1,59 \text{ A sec.}$$

La curva que mejor se adapta a este requerimiento es la IEEE muy inverso; de donde se obtiene una palanca de 0,5, la cual permite obtener un disparo en 0,7 segundos para una falla en la barra de 2.4 KV.

Ajuste:

$$\text{Tensión de control} = 0,8 V_{\text{nom}} = 0,8 (66,4)$$

$$\text{Tensión de control} = 53 \text{ V}$$

$I_{min\ arr} = 255/160 = 1,6\ A\ sec.$

Palanca de tiempo = 0,5

Curva: IEEE muy inversa

Tabla XX. **Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del generador, sobrecorriente 51V**

51V		SOBRECORRIENTE DE TIEMPO INVERSO DATOS DE LA PROTECCIÓN DE RESPALDO U. G-1 CON CONTROL DE VOLTAJE									
AJUSTES			múltiplo TAP	VALORES DE PRUEBA		TIEMPO ESPERADO	TIEMPO DE OPER. (seg) SIN VOLTAJE DE CONTROL			t op con V	
				I sec	I prim		AB	BC	CA	prom ABC	
Tap=	1,6	A	1	1,60	256		AB	BC	CA		
TD=	0,5		1,5	2,40	384	1,618	1,617	1,607	1,610	No op	
Curv IEEE VI			V	3,20	512	0,703	0,713	0,713	0,713	No op	
In G:	4,31	A	4	6,40	1024	0,180	0,195	0,195	0,194	No op	
Vlim=	53	V	7	11,20	1792	0,090	0,102	0,102	0,103	No op	
Observaciones									Resultado	OK	

51V		SOBRECORRIENTE DE TIEMPO INVERSO DATOS DE LA PROTECCIÓN DE RESPALDO U. G-2 CON CONTROL DE VOLTAJE									
AJUSTES			múltiplo TAP	VALORES DE PRUEBA		TIEMPO ESPERADO	TIEMPO DE OPER. (seg) SIN VOLTAJE DE CONTROL			t op con V	
				I sec	I prim		AB	BC	CA	prom ABC	
Tap=	1,6	A	1	1,60	256		AB	BC	CA		
TD=	0,5		1,5	2,40	384	1,618	1,617	1,607	1,610	No op	
Curv IEEE VI			V	3,20	512	0,703	0,713	0,713	0,713	No op	
In G:	4,31	A	4	6,40	1024	0,180	0,195	0,195	0,194	No op	
Vlim=	53	V	7	11,20	1792	0,090	0,102	0,102	0,103	No op	
Observaciones									Resultado	OK	

Continuación de la tabla XX.

51V		SOBRECORRIENTE DE TIEMPO INVERSO DATOS DE LA PROTECCIÓN DE RESPALDO U. G-3									
		CON CONTROL DE VOLTAJE									
AJUSTES			múltiplo TAP	VALORES DE PRUEBA		TIEMPO ESPERADO	TIEMPO DE OPER. (seg) SIN VOLTAJE DE CONTROL			t op con V prom ABC	
				I sec	I prim		AB	BC	CA		
Tap=	1,6	A	1	1,61	256		AB	BC	CA		
TD=	0,5		1,5	2,40	384	1,618	1,622	1,607	1,609	No op	
Curv IEEE VI			V	3,20	512	0,703	0,715	0,713	0,715	No op	
In G:	4,31	A	4	6,40	1024	0,180	0,193	0,195	0,194	No op	
Vlim=	53	V	7	11,20	1792	0,090	0,103	0,105	0,105	No op	
			Observaciones						Resultado	OK	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. Puesta en servicio de protección principal y respaldo de las unidades

PROYECTO: SUMINISTRO, INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3, Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELECTRICA SANTA MARÍA.						
VERIFICACION DE ACTIVIDADES DE PUESTA EN SERVICIO						
PROTECCIÓN DE GENERADORES PLANTA HIDROELECTRICA SANTA MARÍA						
EMPRESA INDE	UNIDAD	G-1	KV =	2.3		
AREA/DIV/EGEE	MVA	2.75	Inom	690 A		
PLANTA/S Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20		
UBICACIÓ Zunil Quetzaltenango, Guatemala			RTC =	160		
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES						
ESTADO	FECHA	OBSERVACIONES				
/	18/05/2011		Conexión y polaridad de TC's lado neutro			
/	18/05/2011		Conexión y polaridad de TC's lado salida			
/	18/05/2011		Inyección de corrientes TC's lado neutro			
/	18/05/2011		Inyección de corrientes TC's lado salida dev 1			
/	18/05/2011		Inyección de corrientes TC's lado salida dev V			
/	18/05/2011		Inyección de corrientes TC's lado salida dev 3			
/	18/05/2011		Conexión y polaridad de TP's lado generador			
/	18/05/2011		Inyección de potenciales TP's lado generador dev 1			
/	18/05/2011		Inyección de potenciales TP's lado generador dev 2			
/	18/05/2011		Conexión y polaridad de TP's de barra 2.4 KV			
/	18/05/2011		Inyección y potenciales de TP's de barra 2.4 KV			
/	18/05/2011		Disparo y cierra de interruptor de generador 52 G3			
/	18/05/2011		Señalización de interruptor de generador 52 G3			

Continuación de la tabla XXI.

PROYECTO: SUMINISTRO, INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3, Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA						
VERIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE PUESTA EN SERVICIO						
PROTECCIÓN DE GENERADORES PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA						
EMPRESA INDE	UNIDAD	G-1	KV =	2.3		
AREA/DIV. EGEE	MVA	2.75	Inom	690 A		
PLANTA/S Santa Maria	TIPO	HIDRO	RTP =	20		
UBICACIÓ Zunil Quetzaltenango, Guatemala			RTC =	160		
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES						
	ESTADO	FECHA	OBSERVACIONES			
Operación auxiliar 94X	/	18/05/2011				
Operación auxiliar 86C	/	18/05/2011				
Reposición 86G	/	18/05/2011				
Disparo del 52G por 94X1	/	18/05/2011				
Disparo del 52G por 8	/	18/05/2011				
Disparo del 41G	-	-	NO APLICA			
Disparo al 86FI	-	-	NO APLICA			
Alarma falta Vcd circuito de disparo	/	18/05/2011				
Posición 52G a PP	/	18/05/2011				
Arranque al 50FI por 94X1	/	18/05/2011				
Alarma pérdida de fusible TP 's G	/	18/05/2011				
Alarma falta Vcd PP	/	18/05/2011				

Continuación de la tabla XXI.

PROYECTO: SUMINISTRO, INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3, Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA VERIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE PUESTA EN SERVICIO PROTECCIÓN DE GENERADORES PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA						
EMPRESA INDE	UNIDAD	G-1	KV =	2.3		
AREA/DIV. EGEE	MVA	2.75	Inom	690 A		
PLANTA/S Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20		
UBICACIÓN Zunil Quetzaltenango, Guatemala			RTC =	160		
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES						
	ESTADO	FECHA	OBSERVACIONES			
Posición 52G a PR	/	18/05/2011				
Alarma pérdida de fusible TP 's Bus	/	18/05/2011				
Alarma falta Vcd PR	/	18/05/2011				
Alimentación PP	/	18/05/2011				
Alimentación PR	/	18/05/2011				
Alimentación cuadro de alarmas	/	18/05/2011				
Alimentación multimetro	/	18/05/2011				
Alimentación circuito de cierre y disparo	/	18/05/2011				
Alimentación alumbrado interno	/	18/05/2011				
Bloqueo de disparo PP por peinetas	/	18/05/2011				
Bloqueo de disparo PR por peinetas	/	18/05/2011				
Alarma opero PP	/	18/05/2011				
Alarma opero PR	/	18/05/2011				
Alarma opero 86G	/	18/05/2011				
Alarma anomalidad P	/	18/05/2011				
Alarma anomalidad P	/	18/05/2011				
Bloqueo de cierre 52G	/	18/05/2011				

Continuación de la tabla XXI.

PROYECTO: SUMINISTRO, INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3, Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA						
VERIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE PUESTA EN SERVICIO						
PROTECCIÓN DE GENERADORES PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA						
EMPRESA INDE	UNIDAD	G-1	KV =	2.3		
AREA/DIV. EGEE	MVA	2.75	Inom	690 A		
PLANTAS/S Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20		
UBICACIÓ Zunil Quetzaltenango, Guatemala			RTC =	160		
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES						
	ESTADO	FECHA	OBSERVACIONES			
Posición 52G a PR	/	18/05/2011				
Alarma pérdida de fusible TP 's Bus	/	18/05/2011				
Alarma falta Vcd PR	/	18/05/2011				
Alimentación PP	/	18/05/2011				
Alimentación PR	/	18/05/2011				
Alimentación cuadro de alarmas	/	18/05/2011				
Alimentación multimedidor	/	18/05/2011				
Alimentación circuito de cierre y disparo	/	18/05/2011				
Alimentación alumbrado interno	/	18/05/2011				
Bloqueo de disparo PP por peinetas	/	18/05/2011				
Bloqueo de disparo PR por peinetas	/	18/05/2011				
Alarma opero PP	/	18/05/2011				
Alarma opero PR	/	18/05/2011				
Alarma opero 86G	/	18/05/2011				
Alarma anomalidad P	/	18/05/2011				
Alarma anomalidad P	/	18/05/2011				
Bloqueo de cierre 52C	/	18/05/2011				

Continuación de la tabla XXI.

PROYECTO: SUMINISTRO, INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3, Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA									
MATRIZ DE DISPAROS									
PROTECCIÓN DE GENERADORES PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA									
EMPRESA	INDE	UNIDAD	G-1	KV =	2.3				
AREA/DIV.	EGEE	MVA	2.75	Inom	690 A				
PLANTA/SE	Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20				
UBICACIÓN	Zunil Quetzaltenango, Guatemala			RTC =	160				
DATOS DE LA PROTECCIÓN	MARCA:	BECKWITH	MODELO:	M-3425A	SECCIÓN:	G1			
TIPO:	MULTIFUNCIONAL		SERIE:	7609 PROT PRIMARIA	PRUEBAS:	P.S.			
DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES APLICABLES									
DISPAROS									
ANSI									
86G									
94X									
Interruptor principal									
Interruptor excitación									
Turбина									
ALARMA									
OBSERV.									
Diferencial		87G	/	/	/	N/A	N/A	N/A	OK
Sobre corriente con voltaje		51V	-	-	-	-	-	-	NO APLICA
Sobrecorriente de sec. negativa		46	/	/	/	N/A	N/A	/	OK
Subexcitación		40	/	/	/	N/A	N/A	/	OK
Distancia		21	/	/	/	N/A	N/A	/	OK
Potencia inversa		32	/	/	/	N/A	N/A	/	OK
Sobreexcitación		24G	/	/	/	N/A	N/A	/	OK
Bajo voltaje		27	-	-	-	N/A	N/A	/	OK
Sobre voltaje		59	/	/	/	N/A	N/A	/	OK
Alta frecuencia		81	/	/	/	N/A	N/A	/	OK
Baja frecuencia		81	/	/	/	N/A	N/A	/	OK
Falla a tierra estator		59G	/	/	/	N/A	N/A	/	OK
Falla a tierra estator		27TH	-	-	-	N/A	N/A	/	OK
Falla a tierra rotor		64R							NO APLICA
Energización inadvertida		50/27	/	/	/	N/A	N/A	/	OK
Falla de interruptor		50FI	-	-	-	N/A	N/A	/	OK
Desbalance de voltajes		60	-	-	-	N/A	N/A	/	OK
Auxiliar de disparo		86G	-	-	-	N/A	N/A	/	OK
Auxiliar de disparo		94x	-	-	-	N/A	N/A	/	OK

Continuación de la tabla XXI.

PROYECTO: SUMINISTRO, INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3, Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA									
MATRIZ DE DISPAROS									
PROTECCIÓN DE GENERADORES PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA									
EMPRESA	INDE	UNIDAD	G-1	KV =	2.3				
AREA/DIV.	EGEE	MVA	2.75	Inom	690 A				
PLANTA/SE	Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20				
UBICACIÓN	Zunil Quetzaltenango, Guatemala			RTC =	160				
DATOS DE LA PROTECCION	MARCA:	MODELO: M-3425A	SECCION: G1						
	TIPO:	SERIE: 7609 PROT RESPALDO	PRUEBAS: P.S.						
DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES APLICABLES									
	ANSI	86G	94X	Interruptor principal	Interruptor excitación	Turbina	ALARMA	OBSERV.	
Diferencial	87G	-	-	-	-	-	-	NO AFLICA	
Sobre corriente con voltaje	51V	/	/	/	N A	N A	/	OK	
Sobrecorriente de sec negativa	46	/	/	/	N A	N A	/	OK	
Subexcitación	40	/	/	/	N A	N A	/	OK	
Distancia	21	-	-	-	-	-	-	NO AFLICA	
Potencia inversa	32	/	/	/	N A	N A	/	OK	
Sobreexcitación	24G	/	/	/	N A	N A	/	OK	
Bajo voltaje	27	-	-	N A	N A	N A	/	OK	
Sobre voltaje	59	/	/	/	N A	N A	/	OK	
Alta frecuencia	81	/	/	/	N A	N A	/	OK	
Baja frecuencia	81	/	/	/	N A	N A	/	OK	
Falla a tierra estator	59G	-	-	-	-	-	-	NO AFLICA	
Falla a tierra estator	27TH	-	-	-	-	-	-	NO AFLICA	
Falla a tierra rotor	64R	-	-	-	-	-	-	NO AFLICA	
Energización inadvertida	50/27	/	/	/	N A	N A	/	OK	
Falla de interruptor	50FI	-	-	-	-	-	/	OK	
Desbalance de voltajes	60	-	-	-	-	-	/	OK	

Continuación de la tabla XXI.

PROYECTO: SUMINISTRO, INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3, Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA					
VERIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE PUESTA EN SERVICIO					
PROTECCIÓN DE GENERADORES PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA					
EMPRESA INDE	UNIDAD	G-2	KV =	2.3	
AREA/DIV. EGEE	MVA	2.75	Inom	690 A	
PLANTA/S Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20	
UBICACIÓ Zunil Quetzaltenango, Guatemala			RTC =	160	
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES			ESTADO	FECHA	OBSERVACIONES
Conexión y polaridad de TC's lado neutro			/	40681	
Conexión y polaridad de TC's lado salida			/	40681	
Inyección de corrientes TC's lado neutro			/	40681	
Inyección de corrientes TC's lado salida dev 1			/	40681	
Inyección de corrientes TC's lado salida dev V			/	40681	
Inyección de corrientes TC's lado salida dev 3			/	40681	
Conexión y polaridad de TP's lado generador			/	40681	
Inyección de potenciales TP's lado generador dev 1			/	40681	
Inyección de potenciales TP's lado generador dev 2			/	40681	
Conexión y polaridad de TP's de barra 2.4 KV			/	40681	
Inyección y potenciales de TP's de barra 2.4 KV			/	40681	
Disparo y tierra de interruptor de generador 52 G3			/	40681	
Señalización de interruptor de generador 52 G3			/	40681	

Continuación de la tabla XXI.

PROYECTO: SUMINISTRO, INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3, Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA									
VERIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE PUESTA EN SERVICIO									
PROTECCIÓN DE GENERADORES PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA									
EMPRESA INDE	UNIDAD	G-2	KV =	2.3					
AREA/DIV / EGEE	MVA	2.75	Inom	690 A					
PLANTA/S Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20					
UBICACIÓN	Zunil Quetzaltenango, Guatemala								
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES									
			ESTADO	FECHA	OBSERVACIONES				
Operación auxiliar 94X1			/	40681					
Operación auxiliar 86G			/	40681					
Reposición 86G			/	40681					
Disparo del 52G por 94X1			/	40681					
Disparo del 52G por 86G			/	40681					
Disparo del 41G			-	-				NO APLICA	
Disparo al 86FI			-	-				NO APLICA	
Alarma falta Vcd circuito de disparo			/	40681					
Posición 52G a PP			/	40681					
Arranque al 50FI por 94X1			/	40681					
Alarma perdida de fusible TP's G			/	40681					
Alarma falta Vcd PP			/	40681					

Continuación de la tabla XXI.

PROYECTO: SUMINISTRO, INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3, Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA									
VERIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE PUESTA EN SERVICIO									
PROTECCIÓN DE GENERADORES PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA									
EMPRESA	INDE	UNIDAD	G-2	KV =	ESTADO	FECHA	OBSERVACIONES		
AREA/DIV.	EGEE	MVA	2.75	Inom					
PLANTA/SE	Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =					
UBICACIÓN	Zunil Quetzaltenango, Guatemala			RTC =					
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES									
	Posición 52G a PR				/	40681			
	Alarma perdida de fusible TP's Bus				/	40681			
	Alarma falta Vcd PR				/	40681			
	Alimentación PP				/	40681			
	Alimentación PR				/	40681			
	Alimentación cuadro de alarmas				/	40681			
	Alimentación multimedidor				/	40681			
	Alimentación circuito de cierre y disparo				/	40681			
	Alimentación alumbrado interno				/	40681			
	Bloqueo de disparo PP por peinetas				/	40681			
	Bloqueo de disparo PR por peinetas				/	40681			
	Alarma opero PP				/	40681			
	Alarma opero PR				/	40681			
	Alarma opero 86G				/	40681			
	Alarma anomalidad PP				/	40681			
	Alarma anomalidad PR				/	40681			
	Bloqueo de cierre 52G				/	40681			

Continuación de la tabla XXI.

PROYECTO: SUMINISTRO, INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3, Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA									
MATRIZ DE DISPAROS									
PROTECCIÓN DE GENERADORES PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA									
EMPRESA	NDE	UNIDAD	G-2	KV =	2.3				
AREA/DIV.	EGEE	MVA	2.75	Inom	690 A				
PLANTASE	Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20				
UBICACIÓN	Zunil Quetzaltenango, Guatemala			RTC =	160				
DATOS DE LA PROTECCION	MARCA: BECKWITH	MODELO: M-3425A	SECCIÓN: G2						
TIPO:	MULTIFUNCIONAL	SERIE: 7609 PROT PRIMARIA	PRUEBAS: P.S.						
DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES APLICABLES									
ANSI	86G	94X	Interruptor principal	DISPAROS	ALARMA	OBSERV.			
87G	/	/	/	Interruptor de sobrecorriente	N/A	N/A	OK		
51V	-	-	-	Turbina	N/A	-	NO APLICA		
46	/	/	/		N/A	/	OK		
40	/	/	/		N/A	/	OK		
21	/	/	/		N/A	/	OK		
32	/	/	/		N/A	/	OK		
24G	/	/	/		N/A	/	OK		
27	-	-	N/A		N/A	/	OK		
59	/	/	/		N/A	/	OK		
81	/	/	/		N/A	/	OK		
81	/	/	/		N/A	/	OK		
59G	/	/	/		N/A	/	OK		
27TH	-	-	N/A		N/A	/	OK		
64R	-	-	-		-	-	NO APLICA		
50/27	/	/	/		N/A	/	OK		
50F1	-	-	N/A		N/A	/	OK		
60	-	-	N/A		N/A	/	OK		
86G	-	-	/		N/A	/	OK		
94x	-	-	/		N/A	/	OK		
Diferencial									
Sobre corriente con voltaje									
Sobrecorriente de sec negativa									
Subexcitación									
Distancia									
Potencia inversa									
Sobreexcitación									
Bajo voltaje									
Sobre voltaje									
Alta frecuencia									
Baja frecuencia									
Falla a tierra estator									
Falla a tierra rotor									
Energización inadvertida									
Falla de interruptor									
Desbalance de voltajes									
Auxiliar de disparo									
Auxiliar de disparo									

Continuación de la tabla XXI.

PROYECTO: SUMINISTRO, INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3, Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA									
MATRIZ DE DISPAROS									
PROTECCIÓN DE GENERADORES PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA									
EMPRESA	INDE								2.3
AREA/DIV.	EGEE								690 A
PLANTA/SE	Santa María								20
UBICACIÓN	Zunil Quetzaltenango, Guatemala								160
DATOS DE MARCA:	BECKWITH	MODELO:	M-3425A	SECCIÓN:	G2				
PROTECCIÓN TIPO:	MULTIFUNCIONAL	SERIE:	7609 PROT RESPALDO	PRUEBAS:	P.S.				
DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES APLICABLES									
ANSI	86G	94X	DISPAROS	Interruptor principal	Interruptor excitación	Turbina	ALARMA	OBSERV.	
Diferencial	87G	-	-	-	-	-	-	NO APLICA	
Sobre corriente con voltaje	51V	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Sobrecorriente de sec negativa	46	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Subexcitación	40	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Distancia	21	-	-	-	-	-	-	NO APLICA	
Potencia inversa	32	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Sobreexcitación	24G	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Bajo voltaje	27	-	-	NA	N/A	N/A	/	OK	
Sobre voltaje	59	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Alta frecuencia	81	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Baja frecuencia	81	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Falla a tierra estator	59G	-	-	-	-	-	-	NO APLICA	
Falla a tierra estator	27TH	-	-	-	-	-	-	NO APLICA	
Falla a tierra rotor	64R	-	-	-	-	-	-	NO APLICA	
Energización inadvertida	50/27	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Falla de interruptor	50FI	-	-	-	-	-	/	OK	
Desbalance de voltajes	60	-	-	-	-	-	/	OK	

Continuación de la tabla XXI.

PROYECTO: SUMINISTRO, INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3, Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA VERIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE PUESTA EN SERVICIO PROTECCIÓN DE GENERADORES PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA						
EMPRESA INDE	UNIDAD	KV =				
AREA/DIV/ EGEE	MVA	Inom	690 A			
PLANTA/S Santa María	TPO	RTP =	20			
UBICACIÓ Zunil Quetzaltenango, Guatemala	HIDRO	RTC =	160			
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES						
Conexión y polaridad de TC's lado neutro			ESTADO	FECHA	OBSERVACIONES	
Conexión y polaridad de TC's lado salida			/	14/05/2011		
Inyección de corrientes TC's lado neutro			/	14/05/2011		
Inyección de corrientes TC's lado salida dev 1			/	14/05/2011		
Inyección de corrientes TC's lado salida dev 2			/	14/05/2011		
Inyección de corrientes TC's lado salida dev 3			/	14/05/2011		
Conexión y polaridad de TP's lado generador			/	14/05/2011		
Inyección de potenciales TP's lado generador dev 1			/	14/05/2011		
Inyección de potenciales TP's lado generador dev 2			/	14/05/2011		
Conexión y polaridad de TP's de barra 2.4 KV			/	14/05/2011		
Inyección y potenciales de TP's de barra 2.4 KV			/	14/05/2011		
Disparo y cierre de interruptor de generador 52 G3			/	14/05/2011		
Señalización de interruptor de generador 52 G3			/	14/05/2011		

Continuación de la tabla XXI.

PROYECTO: SUMINISTRO, INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3, Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA VERIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE PUESTA EN SERVICIO PROTECCIÓN DE GENERADORES PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA						
EMPRESA INDE	UNIDAD	G-3	KV =	2.3		
AREA/DIV EGEE	MVA	2.75	Inom	690 A		
PLANTA/S Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20		
UBICACIÓN Zunil Quetzaltenango, Guatemala			RTC =	160		
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES						
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	ESTADO	FECHA	OBSERVACIONES			
Operación auxiliar 94X	/	14/05/2011				
Operación auxiliar 86C	/	14/05/2011				
Reposición 86G	/	14/05/2011				
Disparo del 52G por 94X1	/	14/05/2011				
Disparo del 52G por 86G	/	14/05/2011				
Disparo del 41G	-	-	NO APLICA			
Disparo al 86FI	-	-	NO APLICA			
Alarma falta Vcd circuito de disparo	/	14/05/2011				
Posición 52G a PP	/	14/05/2011				
Arranque al 50F por 94X1	/	14/05/2011				
Alarma perdida de fusible TP's G	/	14/05/2011				
Alarma falta Vcd PP	/	14/05/2011				

Continuación de la tabla XXI.

PROYECTO: SUMINISTRO, INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3, Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA VERIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE PUESTA EN SERVICIO PROTECCIÓN DE GENERADORES PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA						
EMPRESA INDE	UNIDAD	KV =	ESTADO	FECHA	OBSERVACIONES	
AREA/DIV. EGEE	MVA G-3	Inom 690 A	/	14/05/2011		
PLANTA/S Santa María	HIDRO	RTP = 20	/	14/05/2011		
UBICACIÓN Zunil Quetzaltenango, Guatemala		RTC = 160	/	14/05/2011		
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES						
Posición 52G a PR			/	14/05/2011		
Alarma pérdida de fusible TP´s Bus			/	14/05/2011		
Alarma falta Vcd PR			/	14/05/2011		
Alimentación PP			/	14/05/2011		
Alimentación PR			/	14/05/2011		
Alimentación cuadro de alarmas			/	14/05/2011		
Alimentación multimetro			/	14/05/2011		
Alimentación circuito de cierre y disparo			/	14/05/2011		
Alimentación alumbrado interno			/	14/05/2011		
Bloqueo de disparo PP por peinetas			/	14/05/2011		
Bloqueo de disparo PR por peinetas			/	14/05/2011		
Alarma opero PP			/	14/05/2011		
Alarma opero PR			/	14/05/2011		
Alarma opero 86G			/	14/05/2011		
Alarma anomalía P			/	14/05/2011		
Alarma anomalía P			/	14/05/2011		
Bloqueo de cierre 52G			/	14/05/2011		

Continuación de la tabla XXI.

PROYECTO: SUMINISTRO, INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3, Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA									
VERIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE PUESTA EN SERVICIO									
PROTECCIÓN DE GENERADORES PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA									
EMPRESA	INDE	UNIDAD	G-3	KV =	2.3				
AREA/DIV.	EGEE	MVA	2.75	Irom	690 A				
PLANTA/SE	Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20				
UBICACIÓN	Zunil Quetzaltenango, Guatemala			RTC =	160				
DATOS DE LA MARCA: BECKWITH		MODELO: M-3425A		SECCION: G3					
PROTECCION TIPO: MULTIFUNCIONAL		SERIE: 7601 PROT PRIMARIA		PRUEBAS: P.S.					
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	ANSI	86G	94X	DISPAROS			ALARMA	OBSERVACIONES	
				Interruptor principal	Interruptor excitación	Turbina			
Diferencial	87G	/	/	/	N/A	N/A	N/A	OK	
Sobre corriente con voltaje	51V	-	-	-	-	-	-	NO APLICA	
Sobrecorriente de sec negativa	46	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Subexcitación	40	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Distancia	21	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Potencia inversa	32	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Sobreexcitación	24G	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Bajo voltaje	27	-	-	N/A	N/A	N/A	/	OK	
Sobre voltaje	59	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Alta frecuencia	81	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Baja frecuencia	81	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Falla a tierra estator	59G	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Falla a tierra rotor	27TH	-	-	N/A	N/A	N/A	/	OK	
Falla a tierra rotor	64R							NO APLICA	
Energización inadvertida	50/27	/	/	/	N/A	N/A	/	OK	
Falla de interruptor	50F1	-	-	N/A	N/A	N/A	/	OK	
Desbalance de voltajes	60	-	-	N/A	N/A	N/A	/	OK	
Auxiliar de disparo	86G	-	-	/	N/A	N/A	/	OK	
Auxiliar de disparo	94x	-	-	/	N/A	N/A	/	OK	

Continuación de la tabla XXI.

PROYECTO: SUMINISTRO, INSTALACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO DE LAS UNIDADES 1, 2 Y 3, Y TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA									
VERIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE PUESTA EN SERVICIO									
PROTECCIÓN DE GENERADORES PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA MARÍA									
EMPRESA	INDE	UNIDAD	G-3	KV =	2.3				
AREA/DIV.	EGEE	MVA	2.75	Inom	690 A				
PLANTA/SE	Santa María	TIPO	HIDRO	RTP =	20				
UBICACIÓN	Zunil Quetzaltenango, Guatemala			RTC =	160				
DATOS DE LA PROTECCIÓN	MARCA: BECKWITH	MODELO: M-3425A	SECCION: G3						
TIPO:	MULTIFUNCIONAL	SERIE: 7642 PROT RESPALDO	PRUEBAS: P.S.						
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	ANSI	86G	94X	DISPAROS			ALARMA	OBSERVACIONES	
				Interruptor principal	Interruptor excitación	Turbina			
Diferencial	87G	-	-	-	-	-	-	NO APLICA	
Sobrecorriente con voltaje	51V	/	/	/	/	N/A	/	OK	
Sobrecorriente de sec negativa	46	/	/	/	/	N/A	/	OK	
Subexcitación	40	/	/	/	/	N/A	/	OK	
Distancia	21	-	-	-	-	-	-	NO APLICA	
Potencia inversa	32	/	/	/	/	N/A	/	OK	
Sobreexcitación	24G	/	/	/	/	N/A	/	OK	
Bajo voltaje	27	-	-	N/A	N/A	N/A	/	OK	
Sobre voltaje	59	/	/	/	/	N/A	/	OK	
Alta frecuencia	81	/	/	/	/	N/A	/	OK	
Baja frecuencia	81	/	/	/	/	N/A	/	OK	
Falla a tierra estator	59G	-	-	-	-	-	-	NO APLICA	
Falla a tierra estator	27TH	-	-	-	-	-	-	NO APLICA	
Falla a tierra rotor	64R	-	-	-	-	-	-	NO APLICA	
Energización inadvertida	50/27	/	/	/	/	N/A	/	OK	
Falla de interruptor	50FI	-	-	-	-	-	-	OK	
Desbalance de voltajes	60	-	-	-	-	-	-	OK	

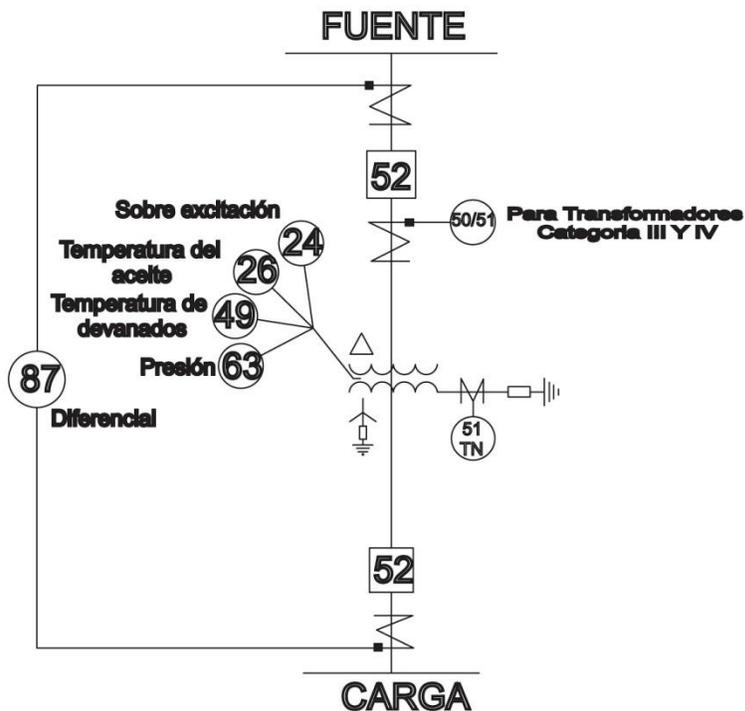
Fuente: elaboración propia.

### 3.9. Montaje e Instalación de tablero de protección del transformador de potencia

El transformador es una máquina que falla poco, en comparación con otros elementos del sistema, lógicamente requiere de atención y mantenimiento. Por otra parte, cuando el transformador falla, generalmente se tienen consecuencias graves para el sistema, de ahí la importancia de contar con esquemas de protección rápidos y seguros.

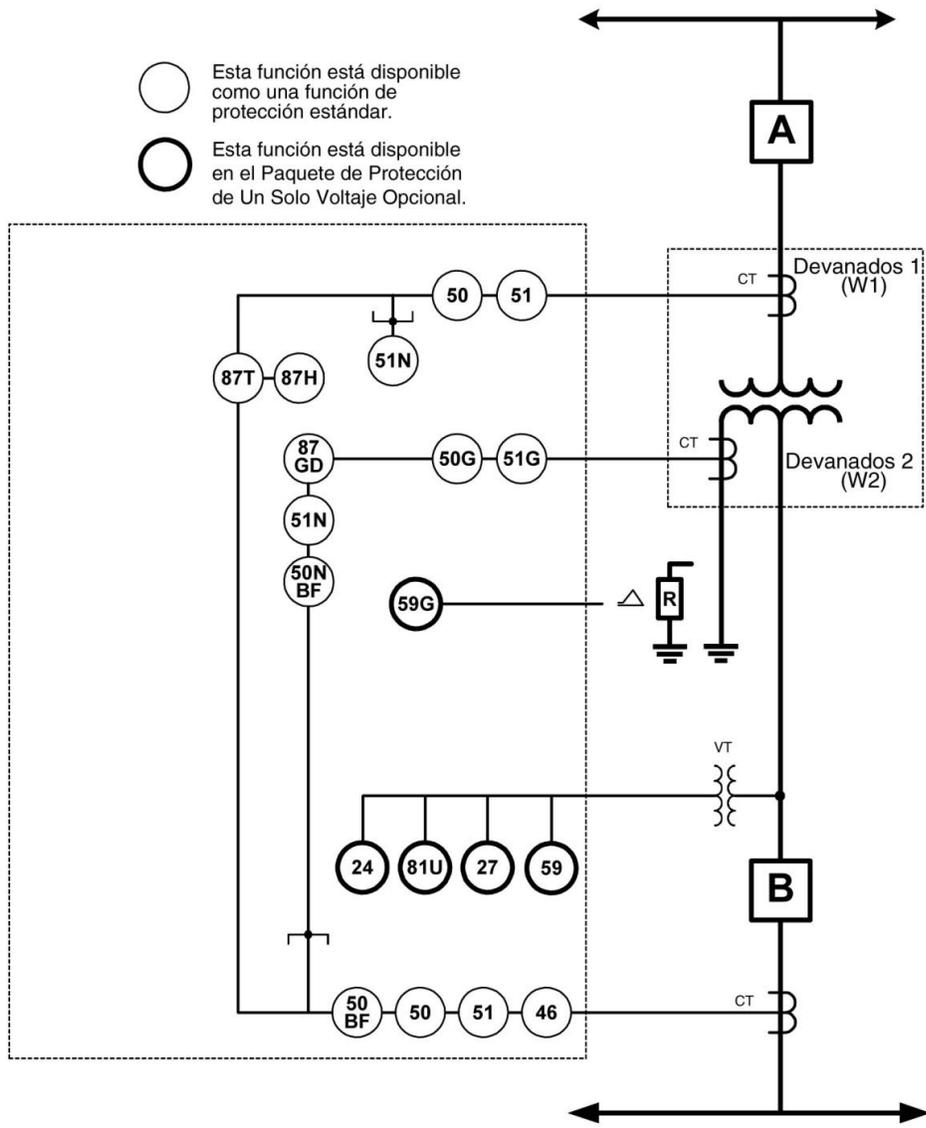
Para ilustrar las consideraciones antes mencionadas, se presenta en la figura 21, el esquema básico de protecciones de un banco de transformación.

Figura 21. Esquema básico de protecciones



Fuente: elaboración propia, con programa de Visio.

Figura 22. **Esquema básico de protecciones de un banco de transformación**



**DIAGRAMA UNIFILAR DE FUNCIÓN TÍPICO**

**DEL RELE MARCA BECKWITH ELECTRIC**

Fuente: elaboración propia, con programa de Visio.

### 3.9.1. Protección Buchholz 63B

A este tipo de relevador, también se le conoce como trafoscopio o relevador detector de gas y puede aplicarse solo en transformadores equipados con tanque conservador y sin espacio de gas dentro del tanque. Generalmente, se aplica en transformadores de potencia de capacidad mayor de 10 MVA.

Las fallas incipientes en los devanados o los puntos calientes en el núcleo, normalmente generan pequeñas cantidades de gas que suben a la parte superior del tanque; desde aquí, las burbujas entran a la cámara de acumulación del relevador, por medio de una tubería.

Este dispositivo es capaz de detectar pequeños volúmenes de gas y por lo tanto, arcos de baja energía.

Aunque si bien este relevador es capaz de operar con gran rapidez, la característica más sobresaliente, es la sensibilidad a las fallas incipientes, esto es, fallas menores inicialmente, con desprendimiento de gases inflamables, que causa daños lento pero crecientemente.

A medida que el gas se acumula en el relevador, el nivel de aceite baja y con este el flotador superior, mismo que opera con un *swicth* de mercurio, que hace sonar una alarma en esta primera etapa. Este mecanismo responde a pequeños desprendimientos de gases.

Para fallas severas, la generación súbita de gases causa movimiento de aceite y gas en el tubo que interconecta al transformador con el tanque conservador y por lo tanto en el relevador Buchholz, accionándose un segundo mecanismo que a la vez, opera un *swicth* de mercurio para disparo.

### **3.9.1.1. Protección de sobrepresión o presión súbita 63P**

En transformadores con sello hermético (sin tanque conservador), la unidad de disparo del relevador Buchholz, no es aplicable por lo que puede utilizarse una unidad de sobrepresión. También puede utilizarse un relevador de presión súbita, el cual responda a la velocidad de cambio de la presión (5 lb/pgs<sup>2</sup>) y no al valor mismo de ésta, consiguiéndose tiempo de operación de 1 a 6 ciclos para fallas severas.

Algunos errores de operación que pueden presentarse con relevadores actuados por gases, sobrepresión y presión súbita; debido a la alta sensibilidad de los mecanismos que operan contactos de mercurio, son por los siguientes motivos:

- Movimientos sísmicos
- Choque mecánico en algún punto cercano
- Vibración o movimiento de aceite ocasionado por los cortocircuitos externos al transformador.
- Vibración debida a flujos magnéticos normales o al energizar el transformador.

En todo caso la ausencia de gases en el relevador, después de haber operado, indicará una operación indeseable.

### **3.9.1.2. Protección térmica 49T**

La temperatura del punto caliente (*hot spot*), en los devanados de un transformador de potencia, influye considerablemente sobre la velocidad de

deterioro del aislamiento. La protección del transformador contra daño, debido a temperaturas excesivas del punto caliente, es proporcionada por un relevador térmico que responda a la temperatura del aceite, como al efecto calentador de la corriente de carga; en estos relevadores el elemento del termostato, está sumergido en el aceite y recibe además una corriente proporcional a la corriente de carga, de tal manera que la temperatura del elemento se relaciona con la temperatura total que los devanados del transformador alcanzan durante la operación.

El relevador de sobre temperatura, es un dispositivo capaz de detectar condiciones anormales de temperatura, consta de un elemento bimetálico, formado por dos metales que tienen propiedades de expansión proporcionales con calor, este dispositivo está montado en aceite caliente y lleva la corriente proporcional a la carga en el bobinado, cuando el bobinado ha alcanzado la temperatura máxima de seguridad, el elemento bimetálico se calienta y se extiende, jalando un gatillo que cierra un contacto y arranca los ventiladores, para efecto de enfriamiento. Si la temperatura continua subiendo, cierra un segundo contacto y da una alarma de temperatura y si la temperatura continua el ascenso, finalmente cierra un tercer contacto que manda un disparo de interruptor por sobre-temperatura, de tal manera, que permita al transformador liberar carga, si esta excede de un valor máximo de seguridad, antes que ocurra un daño severo al equipo y así mantener la carga segura en todo momento.

### **3.9.1.3. Protección de bajo nivel de aceite 71T**

Los indicadores de nivel de líquidos (tipo magnético), son aparatos indicadores auto-contenidos, a prueba de intemperie, sumergibles a prueba de choques, operados por flotador, para uso con aceite. Los indicadores de nivel con contactos, se utilizan para activar un circuito pequeño con campana,

lámpara o relevador. Los indicadores de nivel, normalmente se embarcan montados en el tanque del transformador u otro equipo y requieren un mantenimiento mínimo.

Los indicadores son instrumentos de precisión, compuestos en dos partes principales: la caja exterior y el cuerpo.

En indicadores con contactos hacia alarma, un micro-interruptor colocado dentro de la caja exterior, actúan cuando la flecha de la aguja llega a una posición predeterminada.

Al igual que los equipos de protecciones de las unidades (turbina, generador) 1, 2 y 3, se sustituirá también el equipo de protección del Transformador de Potencia, de la Central Hidroeléctrica Santa María (figuras 23 y 24), en el departamento de Quetzaltenango de la República de Guatemala. El equipo de protección existente, tiene muchos años de servicio, por lo tanto, el tiempo de operación es muy lento, en relación con los nuevos equipos de protección que se instalarán, como se puede ver en la (figura 25).

Figura 23. **Vista lateral del tablero del transformador de potencia anterior**



Fuente: Casa de máquina. Central Hidroeléctrica Santa María.

Figura 24. **Algunos de los equipos de protección anterior**



Fuente: Casa de máquina. Central Hidroeléctrica Santa María.

Figura 25. Vista frontal del nuevo tablero de protección



Fuente: Casa de máquina, Central Hidroeléctrica Santa María.

### 3.9.2. Instalación de protección principal y respaldo del transformador de potencia

La instalación final de la unidad de protección del transformador de potencia, se muestra en la figura 26, junto con las unidades (turbina, generador) 1, 2 y 3. El nuevo equipo es digital, con muchas ventajas adicionales sobre la protección anterior, para este nuevo equipo, se desarrollaron los ajustes adecuados para el óptimo aprovechamiento de las protecciones, incluidas en el nuevo tablero suministrado.

Figura 26. Vista lateral final de las protecciones



Fuente: casa de máquina. central Hidroeléctrica Santa María.

Como información básica del transformador de potencia, se tomó la siguiente, la cual se cuenta en la central y es acerca sobre los parámetros.

Marca: PAUWELS TRAF0

Capacidad: 10 / 14 MVA

Conexión: YNd1

Impedancia: 7,38 %

Corriente de corto-circuito: 14,3 In

Por lo tanto, se toman valores bases, como referencia para determinar los ajustes de las protecciones.

$$S_B = 10 \text{ MVA}$$

$$KV_B = 2,4 \text{ KV}$$

$$I_B = 2\,406 \text{ Amp}$$

$$Z_B = 0.576 \, \Omega$$

$$X_{1G \text{ pu}} = X'_{d} (MVA_2 / MVA_1) (KV_1 / KV_2)^2$$

$$X_{1G \text{ pu}} = 0,2 (10 / 2,73) (2,3 / 2,4)^2$$

$$X_{1G \text{ pu}} = 0,6728 \text{ pu}$$

$$X_{1T \text{ pu}} = (7,38 \% / 100)$$

$$X_{1T \text{ pu}} = 0,0738 \text{ pu}$$

- Determinación de corrientes de fallas
  - A la salida del transformador:

$$I_{CC3F} = (1 / X_{1G} + X_{1T})$$

$$I_{CC3F} = (1 / 0,6728 + 0,0738)$$

$$I_{CC3F} = (1 / 0,7466)$$

$$I_{CC3F} = 1,3394 \text{ pu}$$

$$I_{CC3F} = (1,3394) (2\,406)$$

$$I_{CC3F} = 3\,222 \text{ A}$$

- Relación de transformadores de instrumento

RTP:

$$V_G = V_P = 2\,300\text{ V}$$

$$V_S = 115\text{ V}$$

$$\text{Relación de potencial} = 2\,300 / 115$$

$$\text{RTP} = 20 \text{ a } 1$$

RTC:

$$I_{\text{nom}} = 690\text{ A}$$

$$I_{\text{sec normalizada}} = 5\text{ A}$$

Relación de corriente:

$$\text{Relación deseada} = 690 / 5$$

$$\text{Relación de corriente disponible} = 800 / 5$$

$$\text{RTC} = 800 / 5$$

### **3.9.3. Cableado de protección principal y respaldo del transformador de potencia**

En la siguiente tabla se detallan las características del cableado.

Tabla XXII. Lista de cables de control, protección, medición y fuerza

TRANSFORMADOR DE POTENCIA									
LISTA DE CABLES DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDICIÓN Y FUERZA									
RUTA	No. DE CABLES	COLOR/ IDENTIF.	SALE DE:	TERMINALES	LLEGA A:	TERMINALES	FUNCIÓN	OBSERVACIONES Y REFERENCIA	
	4 x 10	Negro	Devanado 1 TC's - Neutro G2	TC Dev. R/ 1k	Tablero PC y M G2	C/1	Señal de corriente	Puente entre terminales	
		Blanco		TC Dev. S/ 1k		C/2	lado salida		
		Rojo		TC Dev. T/ 1k		C/3	del T.P. de		
		Verde		TC Dev. T/ 1l		C/4	la planta		
	4 x 10	Negro	Gabinete de TC's GV	TC Dev. R/ Y1	Tablero PC y M G2	C/5	Señal de corrientes	Puentes entre terminales	
		Blanco		TC Dev. S/ Y1		C/6	protección		
		Rojo		TC Dev. T/ Y1		C/7	principal y		
		Verde		TC Dev. T/ Y1		C/8	respaldo		
	4 x 10	Negro			Tablero PC y M G2	V/1	lado 69 KV	Viene de tablero del transformador	
		Blanco				V/2	Señal de		
		Rojo				V/3	medición		
		Verde				V/4	facturación		

Continuación de la tabla XXII.

TRANSFORMADOR DE POTENCIA									
LISTA DE CABLES DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDICIÓN Y FUERZA									
RUTA	Nº. DE CABLES	COLOR / IDENTIF.	SALE DE:	TERMINALES	LLEGA A:	TERMINALES	FUNCIÓN	OBSERVACIONES Y REFERENCIA	
	12 x 14	1	Tablero PCyM G2	A/5	Gabinete Int. G2	X1 / 1	Cierre remoto	Puentes en terminales TP G2-A/XV	
		2		A/7		X1 / 2	(-) negativo cto. Cierre	TPG2-B/Y2, TPG2-C/X2 Y 7	
		3		A/16		X1 / 3	Disparo remoto		
		4		A/19		X1 / 4	(-) negativo cto. Disparo		
		5		A/4		X1 / 5	(+) positivo cto. Cierre	Puentes en terminales TPG2-A/YV	
		6				A/45	X1 / 6	Posición Int. 52b PP	TPG2-B/Y2, TPG2-C/Y2 Y 7
		7				A/49	X1 / 7	Posición Int. 52b PP	
		8				A/10	X1 / 8	Int. Abierto lamp. Ind.	
		9				A/9	X1 / 9	Int. Cerrado lamp. Ind.	Señales a futuro
		10				A/25	X1 / 10	Posición Int. 52b PR	
		11				A/29	X1 / 11	Posición Int. 52b PR	
		12							
	2 x 10	Negro	Gabinete T. Excitador G2	TEX2-41	Gab. Reg. Voltaje	A / 5	Permisivo cierre	Viene de la sección del tablero de	
		Blanco		TEX2-42		A / 20	Permisivo cierre	Transformador	

Fuente: elaboración propia.

### **3.9.4. Ajuste y prueba de protección principal y respaldo del transformador de potencia**

El transformador de potencia, utilizará la función protección diferencial del transformador 87T, 50/51 y 51N, la protección diferencial, es el medio más comúnmente empleado para proteger transformadores de aproximadamente 10 MVA y superiores contra fallas internas. En este esquema de protección los transformadores de corriente, deben ser conectados de tal forma, que la señal neta hacia la bobina de operación del relevador, sea la diferencia entre las corrientes de entrada y salida.

La conexión de los TC's, debe efectuarse de forma tal, que la corriente neta por la bobina de operación del relevador durante cualquier tipo y localización de falla externa sea substancialmente cero, en estos tiempos con el relé de protección instalado, no es necesario modificar la conexión de las señales de corriente, ya que el relé hace la diferencia internamente.

#### **3.9.4.1. Protección con respaldo por sobrecorriente 50/51 y 51N**

La protección de sobrecorriente, se diseña para operar cuando la magnitud de la corriente que fluye por el elemento protegido, es mayor que la corriente de ajuste, (magnitud predeterminada). Los valores anormales de corriente, pueden ser provocados por sobrecargas en el sistema y por cortocircuitos. Estos niveles excesivos de corriente, pueden provocar daño térmico o mecánico a los elementos del sistema e influenciar negativamente en la calidad del servicio eléctrico, por caídas de voltaje y en ciertas condiciones, pueden afectar la estabilidad del sistema de potencia.

Como es conocido, los esquemas de protección, deben distinguir entre las corrientes debidas a fallas externas o corrientes de carga de estado estable y las corrientes producidas por las fallas internas. Sin embargo, una falla externa que no es liberada rápidamente o corrientes debidas a grandes cargas, producen sobrecalentamiento en los devanados del transformador y a la vez, degradación del aislamiento. Esta situación, favorece la aparición de fallas internas. El efecto de una falla interna sostenida, puede producir arcos, incendios, fuerzas mecánicas y magnéticas, que finalmente dañan los devanados, el tanque, las boquillas e inclusive a equipos cercanos, por lo tanto, se debe seleccionar y ajustar correctamente los dispositivos de protección por sobrecorriente que protegen al transformador.

La protección contra excesivas sobrecargas o fallas externas frecuentes se realiza mediante relevadores de sobrecorriente con retraso de tiempo. El ajuste de la corriente de arranque, se define en 115 % de la corriente de sobrecarga permisible, este margen cubre la incertidumbre de los TC y de la calibración de los relevadores.

La aplicación de relevadores de sobrecorriente instantáneos en la protección de transformadores, debe evaluarse cuidadosamente, para evitar que este opere debido a las corrientes súbitas de magnetización o ante fallas en el lado de baja tensión.

El ajuste de relevadores de fase de sobrecorriente en transformadores significa tomar una decisión entre los requerimientos de operación; el ajuste de la corriente de arranque, debe ser suficientemente alto, para permitir sobrecargar al transformador cuando sea necesario, lo que disminuye la protección; es decir, a mayor corriente de arranque, menor protección. En la protección del transformador, es común seleccionar un ajuste del 150 al 300 %

de la capacidad OA y aún mayor en caso de existir protección de sobrecorriente, en el devanado secundario.

Tabla XXIII. Prueba realizada al relevador multifuncional de protección del transformador de potencia

PRUEBAS A RELEVADORES DIFERENCIALES DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA											
DATOS GENERALES DE INSTALACIÓN											
EMPRESA	INDE	SANTA MARIA									
AREA/DIV	EGEE	Zunil, Quetzaltenango, Guatemala									
											HOJA
											1 de 1
EQUIPO PROTEGIDO											
CLAVE T-1											
TRANSFORMADOR DE CORRIENTE											
DEVANADO	CONEXIÓN	MVA	KV	I nom-pri	GR. VEO	Z %	RTC	CONEX	I n. sec	In 87	
PRIMARIO	DELTA	10	2.4	2405.026	1	7.38	400	ESTR	6.01	8.57	
SECUNDARIO	ESTRELLA	10	69	83.67395	0	7.38	120	ESTR	0.7	1.72	
DATOS DE LA PROTECCIÓN											
MARCA: BECKWITH											
TIPO: M-3311-A											
DESIGN 87T											
SERIE: 8129											
DEVANADOS 3											
AJUSTES											
Tap 1 =	8.57	A									
Tap 2 =	1.72	A									
0	0.2	TAP									
Pend 1 =	0.3	PU									
Pend 2 =	0.5	PU									
PRUEBA DE			DEVANADO 1			DEVANADO 2			TIEMPO OPER.		
I de prueba	I1: A-B	I1: B-C	I1: C-A	I2: a	I2: b	I2: c					
ESPERA	1.71	1.71	1.71	0.34	0.34	0.34					
REAL	1.65	1.65	1.65	0.33	0.34	0.33					
BLOQ	OK	OK	OK	OK	OK	OK					
HARM											

Continuación de la tabla XXIII.

PRUEBAS A RELEVADORES DIFERENCIALES DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA											
DATOS GENERALES DE INSTALACIÓN											
EMPRESA	INDE	SUBESTACIÓN	SANTA MARÍA	HOJA							
AREA/DIV	EGEE	UBICACIÓN	Zunil, Quetzaltenango, Guatemala	1 de 2							
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE PENDIENTE											
AJUSTES											
Pend. 1	0.3	PU	Devanado	FASES	BALANCE	ESPER.	REAL	IdjF	IdjF	IREST	PEND
Prueba a	1	x Tap	1 (Δ)	A-B	8.57	8.57	8.57	1	0.35	1.17	0.3
			2 (Y)	a	1.72	2.33	2.32	1.35			
			1 (Δ)	B-C	8.57	8.57	8.57	1	0.35	1.17	0.3
			2 (Y)	b	1.72	2.33	2.32	1.35			
			1 (Δ)	C-A	8.57	8.57	8.57	1	0.35	1.17	0.3
			2 (Y)	c	1.72	2.33	2.32	1.35			
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE PENDIENTE											
AJUSTES											
Pend. 2	0.5	PU	Devanado	FASES	BALANCE	ESPER.	REAL	IdjF	IdjF	IREST	PEND
Prueba a	2.5	x Tap	1 (Δ)	A-B	21.43	21.43	21.43	2.5	1.68	3.34	0.5
			2 (Y)	a	4.3	7.17	7.2	4.18			
			1 (Δ)	B-C	21.43	21.43	21.43	2.5	1.65	3.33	0.5
			2 (Y)	b	4.3	7.17	7.15	4.15			
			1 (Δ)	C-A	21.43	21.43	21.43	2.5	1.68	3.34	0.5
			2 (Y)	c	4.3	7.17	7.2	4.18			
FECHA: 09/10/2011											
PROBO											
Vo.Bo.											
FIRMA											
RESULTADO DE LAS PRUEBAS:											
OBSERVACIONES											
EQ. DE PRUEBAS: Marca											
TEICH 01											
N/S: ST-01-02											

Fuente: Central Hidroeléctrica Santa María.









## 4. FASE DE INVESTIGACIÓN

### 4.1. Aspectos legales

Es integrada por dependencias y entidades del sector público y privado, se creó por el Decreto número 109-96 del Congreso de la República de Guatemala, de fecha 12 de diciembre de 1996.

Los objetivos y fines son: establecer mecanismos, procedimientos y normas, que propicien la reducción de desastres, por medio de la coordinación interinstitucional, organizar, capacitar y supervisar en todo nivel (local, municipal, departamental, regional y nacional), para establecer una cultura en reducción de desastres, implementando programas de organización, capacitación, educación, información, divulgación y otros que se consideren necesarios, por ejemplo el siguiente que se lee a continuación en la figura 27.

Figura 27. **Decreto de la creación de Ley de la Coordinadora de Reducción de Desastres**

<p>ORGANISMO LEGISLATIVO, CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, DECRETO NÚMERO 109-96</p> <p>CONSIDERANDO</p> <p>Que debido a las características del territorio guatemalteco, derivadas de la posición geográfica y geológica hace susceptible al país a la ocurrencia periódica de fenómenos generadores de desastres que con el caudal de pérdidas de vida humanas, materiales y económicas, provocan la paralización y retraso del desarrollo.</p>
---

Continuación de la figura 27.

<p><b>CONSIDERANDO</b></p> <p>Que la coordinadora que esta ley crea, deberá orientar todos los esfuerzos a establecer una política permanente congruente de prevención, mitigación y preparación que permita hacerle frente a los desastres y calamidades públicas de cualquier naturaleza, procediendo de conformidad con los adelantos y experiencia que sobre la materia se tienen a nivel nacional e internacional cumpliendo con las resoluciones y convenios internacionales o regionales de los cuales Guatemala es signataria;</p> <p><b>POR TANTO</b></p> <p>En ejercicio de las atribuciones que le confiere el Artículo 171 inciso a) de la Constitución Política de la República de Guatemala.</p> <p><b>DECRETA:</b></p> <p>La siguiente:</p> <p style="text-align: center;"><b>LEY DE LA COORDINADORA NACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES DE ORIGEN NATURAL O PROVOCADO</b></p>
---

Fuente: Congreso de la República de Guatemala, Decreto número 109-96.

#### **4.2. Antecedentes**

El historial de antecedentes sobre accidentes acaecidos durante la operación y funcionamiento de la Central Hidroeléctrica Santa María, es de una probabilidad bastante baja, casi nula, ante la eventualidad de un desastre, que pudiera ser de origen natural (terremoto, huracán, derrumbes, inundación, etc.) o los originados por el hombre, intencional o por negligencia y que de manera

súbita, ejercen efectos nocivos y destructivos en la integridad del ser humano y del ecosistema. A continuación, algunos eventos ocurridos desde 1927 al 2010 en la planta Hidroeléctrica Santa María.

- Deslaves que llenaron de sedimentos el embalse, ocurrieron históricamente en 1949, 1954, 1974 y finalmente en el 2005. No se puede excluir que ocurrieron otros eventos no documentados.
- El 29 de mayo de 2010, fue azotada por la tormenta tropical Agatha, la cual repercutió grandemente en la infraestructura del embalse colapsando parte del canal auxiliar, dejando fuera de línea las unidades generadoras, debido a los deslaves que llenaron de sedimentos del Embalse Santa María.
- El 12 de octubre de 2011, fue la depreciación tropical 12-E, la cual tuvo consecuencias leves en la infraestructura del embalse, dejando fuera de línea las unidades generadoras, debido a los deslaves que llenaron de sedimentos del Embalse Santa María.

#### **4.3. Plan de contingencia ante sismos, incendios y accidentes laborales**

En base a la descripción del proyecto, las actividades y los posibles impactos del proyecto, el plan de contingencia (emergencia), presenta medidas a tomar en situaciones de emergencia; derivadas de la operación, funcionamiento y mantenimiento dentro de la casa de máquinas y/o situaciones de desastres naturales en las cercanías de la misma.

En caso de sismo: el área en que se encuentra la protección de las unidades y del transformador de potencia en casa de máquinas, debe ser desalojada de inmediato, debido al riesgo al que están expuestos todo el personal que labora dentro de la casa de máquina, al estar en cercanías de equipos de potencia, los cuales ante un sismo de cualquier magnitud que se presente, pueden generar accidentes, por contacto físico con cables hasta un posible daño físico al personal humano. Deben de existir medidas preventivas de control y postsismo.

En caso de incendios: se debe de mantener al personal, debidamente capacitado para contrarrestar todo tipo de incendio. El personal de mantenimiento, es el responsable de revisar periódicamente todos los extinguidores y asegurarse que tengan el mantenimiento adecuado.

En caso de accidentes laborales: todo el personal que labora dentro de la casa de máquina debe de estar capacitado en primeros auxilios, esto debido a cualquier accidente que pueda ocurrir dentro de la instalación de trabajo o en caso de algún accidente mayor, el personal sepa que debe realizar de forma rápida e inmediata.

#### **4.3.1. Evaluación de riesgos**

El Plan de Contingencia (emergencia), es técnicamente un diagnóstico que sirve de base a toda la acción preventiva, no solo para definir las actividades que hay que realizar, sino también la organización que tiene que llevarse a cabo. Además, que la acción preventiva para planificar, se tiene que establecer prioridades, la evaluación ha de tener algún tipo de medida de los riesgos, que los fundamente. Se ha elaborado un plan de contingencia que

contempla los requerimientos específicos contenidos en la norma emitida por la Coordinadora Nacional Contra la Reducción de Desastres (CONRED).

#### **4.3.2. Métodos de protección**

En los siguientes subtítulos se detallan los métodos de protección.

##### **4.3.2.1. Medios técnicos**

Implementación de un Plan de Contingencia (emergencia), en la planta Hidroeléctrica Santa María, que responda de manera real, eficaz y eficiente, es un documento que engloba la relación de la principales estrategias, equipo e infraestructura disponible en la empresa y que articulados con el recurso humano en funciones y/o disponible, le permite estar preparada para ejecutar estrategias, que respondan ante situaciones generales por siniestros de origen natural y/o humano.

No se cuenta con vehículos adecuados y de funcionamiento óptimo para realizar una evacuación oportuna, la población cuenta con deficientes centros de abastecimiento de insumos alimenticios, equipo, medicamentos.

##### **4.3.2.2. Medios humanos**

Se cuenta con un Comité Central de Emergencias a nivel gerencial, para discutir, estudiar y emprender todas aquellas secciones, encaminadas a la atención de la emergencia. Bajo el control se manejan las emergencias, cuya magnitud y complejidad superan la capacidad de respuestas locales.

El Comité está conformado por: gerente general y/o jefe de planta (coordinador del comité), gerente de generación, jefe del Departamento De Higiene Y Seguridad Industrial, gerente De Servicios Corporativos.

Se activa cuando a juicio del gerente de generación, se considera que la emergencia es grave.

Las principales responsabilidades son:

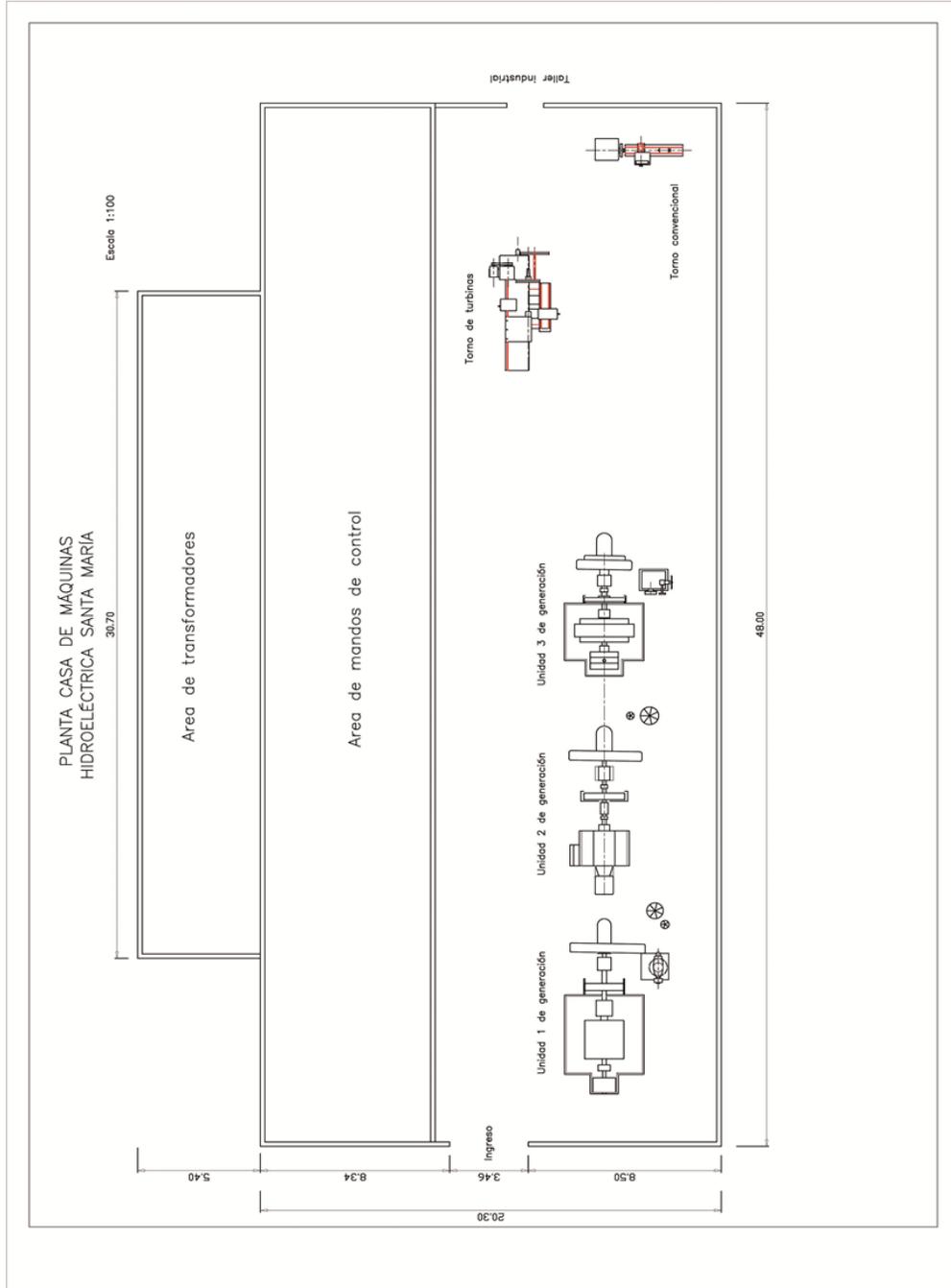
- Brindar apoyo al Comité Local de Emergencias
- Manejar las comunicaciones al exterior de la empresa
- Coordinar los apoyos externos de orden departamental y nacional
- Tomar las decisiones de orden relacionadas con la emergencia
- Define cuando se da por concluido el trabajo del Comité Local de Emergencia.

Desde el 2009 ya se han realizados simulacros de evacuación, con un programa de capacitación impartido por la Unidad de Riesgos del INDE.

#### **4.3.2.3. Planos de edificación**

Los planos de edificación se muestran en la figura 28.

Figura 28. Planta de Hidroeléctrica Santa María



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

#### **4.4. Descripción de funciones**

Las funciones se describen en los siguientes subtítulos.

##### **4.4.1. Funciones del responsable del Plan de Contingencia**

Es el responsable de la coordinación y designación de las tareas para la correcta ejecución del Plan de Contingencia (emergencia), implantado en la organización.

Debe llevar un registro de los resultados de los simulacros realizados dentro de la organización u siniestros que se presenten, así como la implementación de nuevos lineamientos del plan.

##### **4.4.2. Funciones de coordinador del plan**

Es responsable de velar porque se ejecuten los simulacros, con la periodicidad prevista, al igual que la revisión de los dispositivos o alarmas para detección de incendios y de la revisión de los extintores, también de que los encargados de las sub-comisiones, cumplan con lo estipulado en el plan y de mantener enterado al responsable de los resultados obtenidos en los simulacros y siniestros que se presenten.

##### **4.4.3. Funciones de las subcomisiones**

Todos los miembros de las subcomisiones son encargados de realizar las tareas de apoyo en los simulacros y aún en caso de siniestro, también es función de ellos, informar cualquier anomalía en la ejecución, con el fin de

corregir las fallas que pudieran existir durante la ejecución de algún simulacro o en caso de siniestro, esto con el fin de modificar el plan y evitar desastres.

#### 4.5. Plan de acción

Las características principales del plan de acción se detallan seguidamente.

##### 4.5.1. Objetivos del plan de evaluación

- Evaluar los riesgos existentes en la planta
- Realizar acciones preventivas y correctivas de los riesgos latentes en la planta.
- Realizar un formato para mantener el control de los dispositivos de prevención de incendios, actualmente se cuenta con:

Tabla XXV. **Inventario de extintores**

Planta Central Hidroeléctrica Santa María

INVENTARIO DE EXTINTORES			
Tipo de Extintor	Cantidad	Fecha última de carga	Fecha de vencimiento
Phila, ABC	4	En bodega	
Unidad Rodante	2	03/11/2011	03/11/2012
Kidde, ABC	42	03/11/2011	03/11/2012
<b>TOTAL</b>	<b>44</b>		

Fuente: elaboración propia.

#### **4.5.2. Procedimientos de evaluación**

Estimación del nivel de deficiencia de la situación de riesgo. La forma idónea de hacerlo, es realizando un cuestionario que incluya los factores de riesgo apropiados y una indicación acerca de la importancia que cabe atribuirles como elementos causales del daño.

Estimación del nivel de exposición del puesto de trabajo, a la situación de riesgo. Es una medida de la frecuencia con la que se produce la exposición al riesgo del puesto de trabajo en cuestión.

Determinación del nivel de probabilidad de accidente en el puesto, asociado a la situación de riesgo.

Estimación del nivel de consecuencias del accidente, asociado a la situación de riesgo.

#### **4.6. Factibilidad del Plan de Contingencia**

Como resultado de la evaluación del Plan de Contingencia (emergencia) y debido a los riesgos dentro de la organización y el costo asociado a la implementación del Plan de Contingencia (emergencia), versus el valor de pérdida en caso de siniestro, ya que en muchos casos, no existe únicamente pérdida económica, sino también humana.

Se concluye entonces, que es factible implementar el Plan de Contingencia (emergencia).

#### 4.6.1. Costos asociados a la ejecución del plan

Los costos correspondientes a la ejecución del plan se encuentran en la siguiente tabla

Tabla XXVI. Costos asociados a la ejecución del plan

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
10	Capacitación al personal de planta	Q5 000,00	Q50 000,00
1	Equipo de comunicación y alarma central	Q20 000,00	Q20 000,00
44	Carga de extintores	Q400,00	Q17 600,00
1	Revisión trimestral de alarmas	Q1 500,00	Q1 500,00
1	Documentación trimestral	Q400,00	Q400,00
1	Otros	Q700,00	Q700,00
<b>TOTAL</b>			<b>Q92 200,00</b>

Fuente: elaboración propia.



## **5. FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE**

En esta fase se imparte una serie de capacitaciones, en las que se les hace saber, todos los puntos importantes en la instalación, montaje, pruebas y puesta en servicio de los tableros de protección.

Con lo anterior se logra que el personal, obtenga un conocimiento más del equipo de protección instalado para las unidades (turbina, generador) y el transformador de potencia, pudiendo discernir de donde proviene una falla eléctrica cuando se presenta. Esto es de ayuda para el personal de operación y de mantenimiento, ya que con la información de los tableros de protección, tendrán mayor efectividad a la hora de localizar fallas.

Se tocaron varios temas, entre ellos, la razón por la cual se le hacen las distintas pruebas a las protecciones antes de su puesta en servicio, tanto a las unidades (turbina, generador), como al transformador de potencia, del porque la disposición final de estas protecciones y así poder encaminar de la mejor manera el desarrollo del proyecto de ejercicio profesional supervisado.

### **5.1. Normas, diagramas y capacitación**

Para que el funcionamiento de los equipos sea el adecuado, el personal debe conocer las normas técnicas de cada uno de ellos.

### **5.1.1. Aplicación de normas técnicas**

A continuación se detallan las normas a conocer para que los equipos funcionen adecuadamente.

#### **5.1.1.1. Normas de seguridad**

El personal encargado de trabajar en la instalación de protecciones, debe contar con el equipo necesario para cumplir con el trabajo con toda seguridad y es responsabilidad del que supervisa el trabajo, que las personas utilicen el equipo adecuado como lo son:

- Cinturón con herramienta adecuada
- Botas de electricista
- Casco de protección
- Guantes de electricista

Antes de trabajar en un montaje o instalación, se debe estar seguro que todo este aterrizado debidamente, para evitar que el personal tenga algún accidente.

#### **5.1.1.2. Mantenimiento**

Se debe realizar por lo menos una inspección al año, para establecer las condiciones de operación de las protecciones.

- Pruebas de calibración de relés de protecciones
- Mantenimiento de interruptor
- Revisión de apriete de borneras

- Revisión de cableado
- Prueba de operación del interruptor

Esto para evitar problemas de interrupción de servicio, debido a daños en el equipo de protección.

#### **5.1.1.3. Normas complementarias**

Debido a que en Guatemala no se cuenta con normas para la fabricación, suministro, instalación y montaje de los tableros de protecciones, se deben efectuar con las ediciones más recientes de los siguientes documentos o el equivalente en normas Europeas.

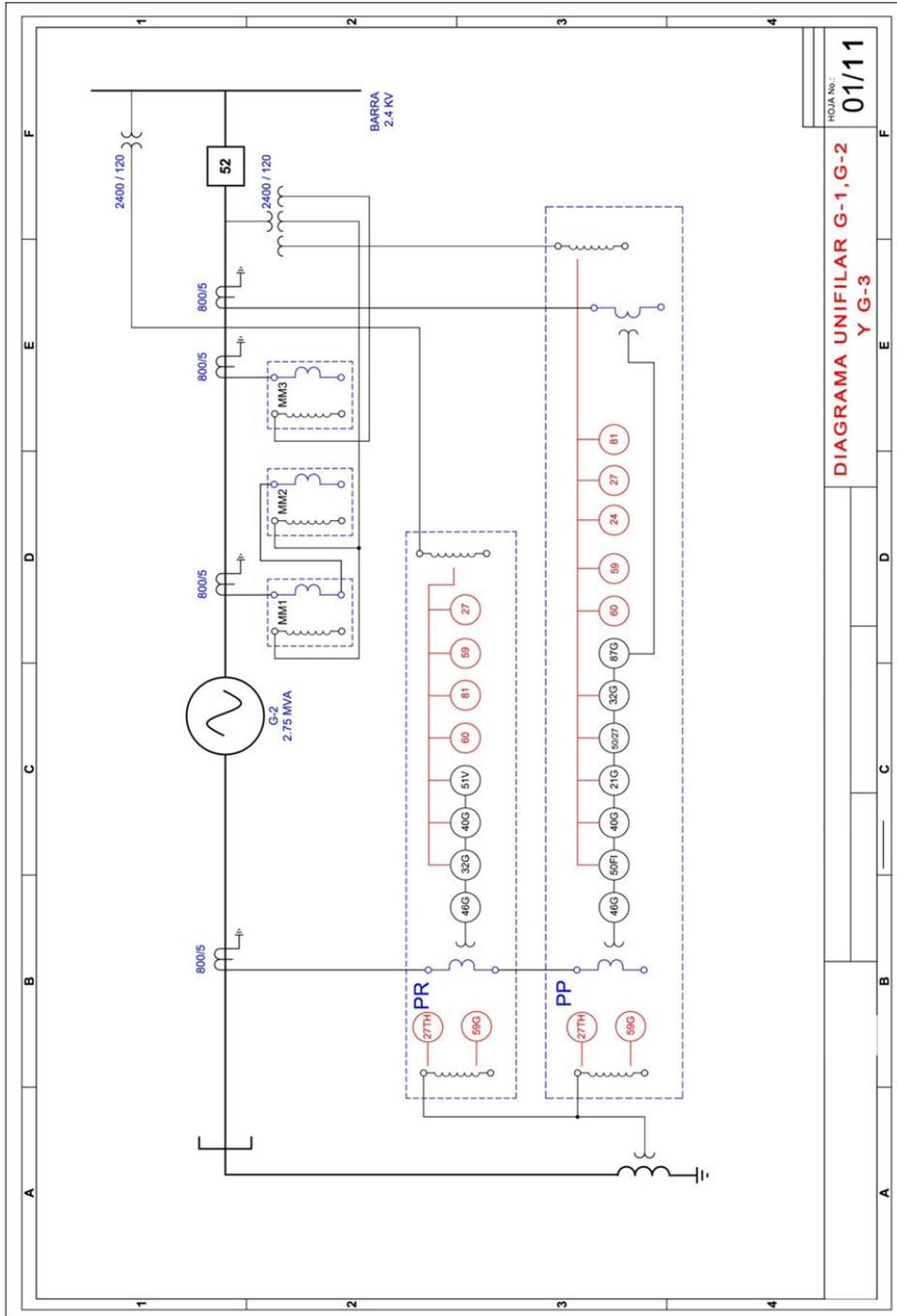
- ANSI American National Standards Institute
- IEC International Electrotechnical Commission
- IEEE Institute of Electrical and Electronic Engineers
- ASTM American Society for Testing and Materials
- AWS American Welding Society
- AISC American Institute of Steel Constructions, Inc.
- NEC National Electrical Code

Además de las normas ambientales y de seguridad.

#### **5.1.2. Diagramas esquemáticos del alambrado, unifilares, dimensiones generales de protecciones**

Se detallan en la siguiente figura.

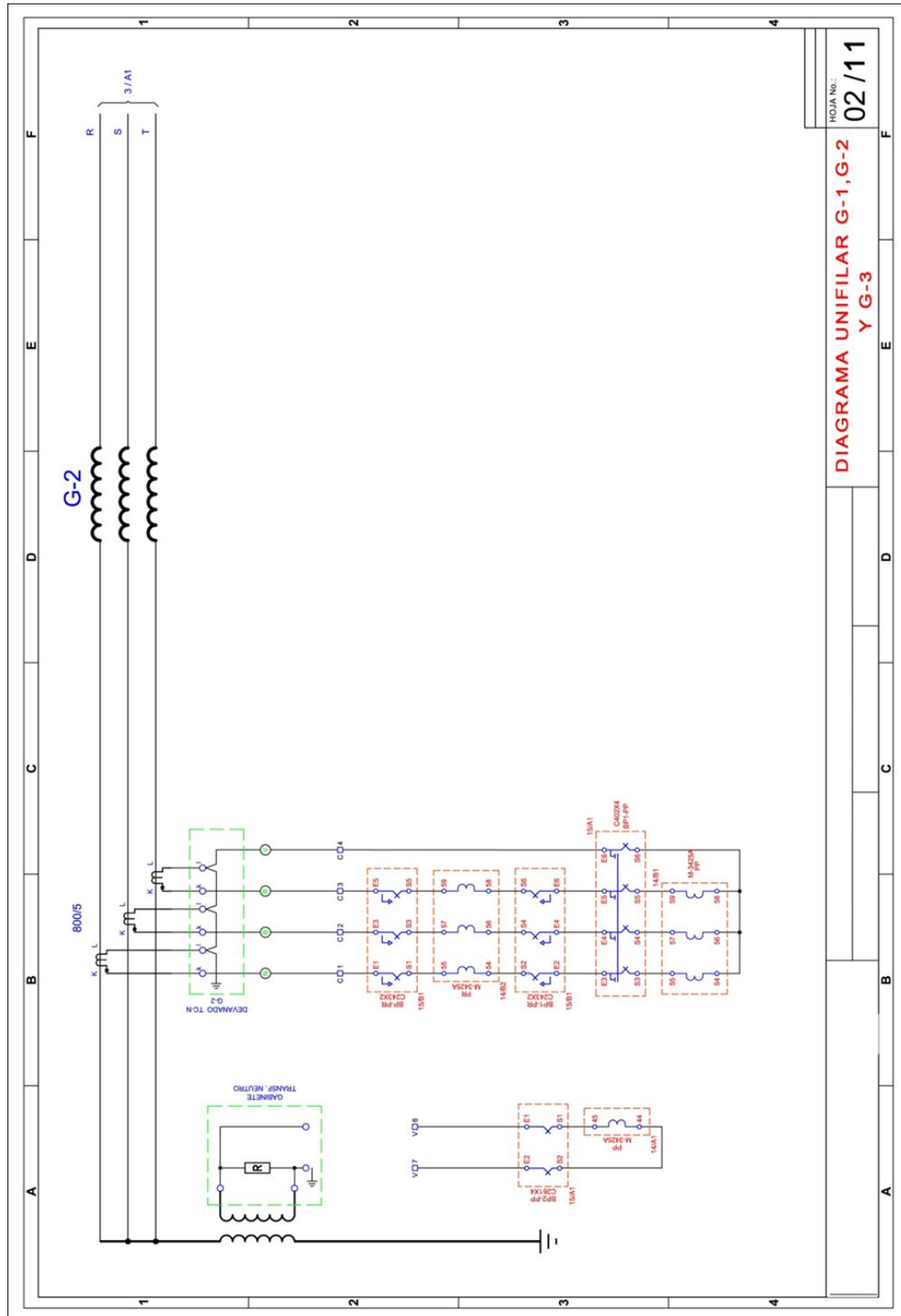
Figura 29. Diagramas esquemáticos del alambrado, unifilares, dimensiones generales de protecciones



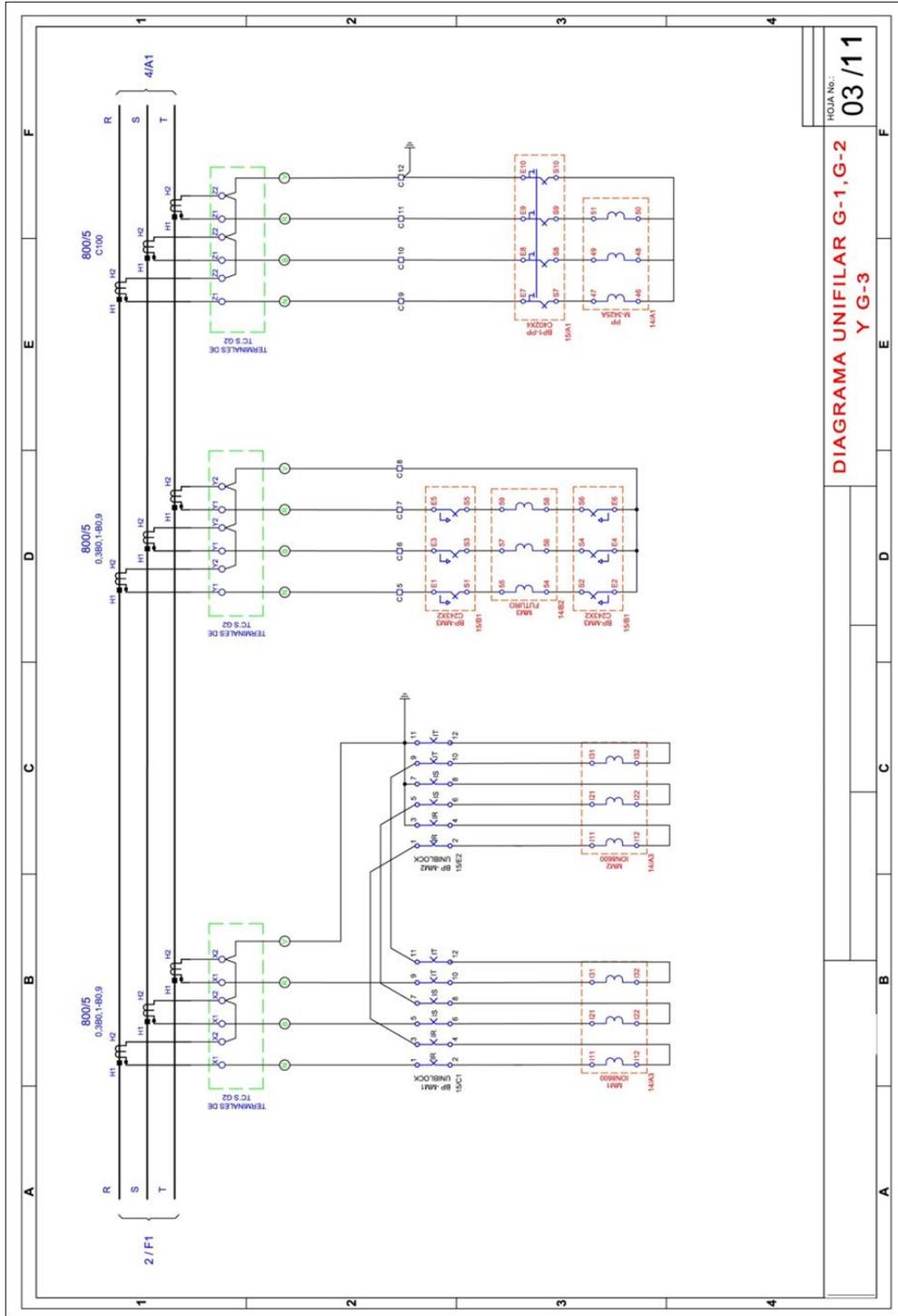
HOJA NO. 01/11

DIAGRAMA UNIFILAR G-1, G-2 Y G-3

Continuación de la figura 29.



Continuación de la figura 29.

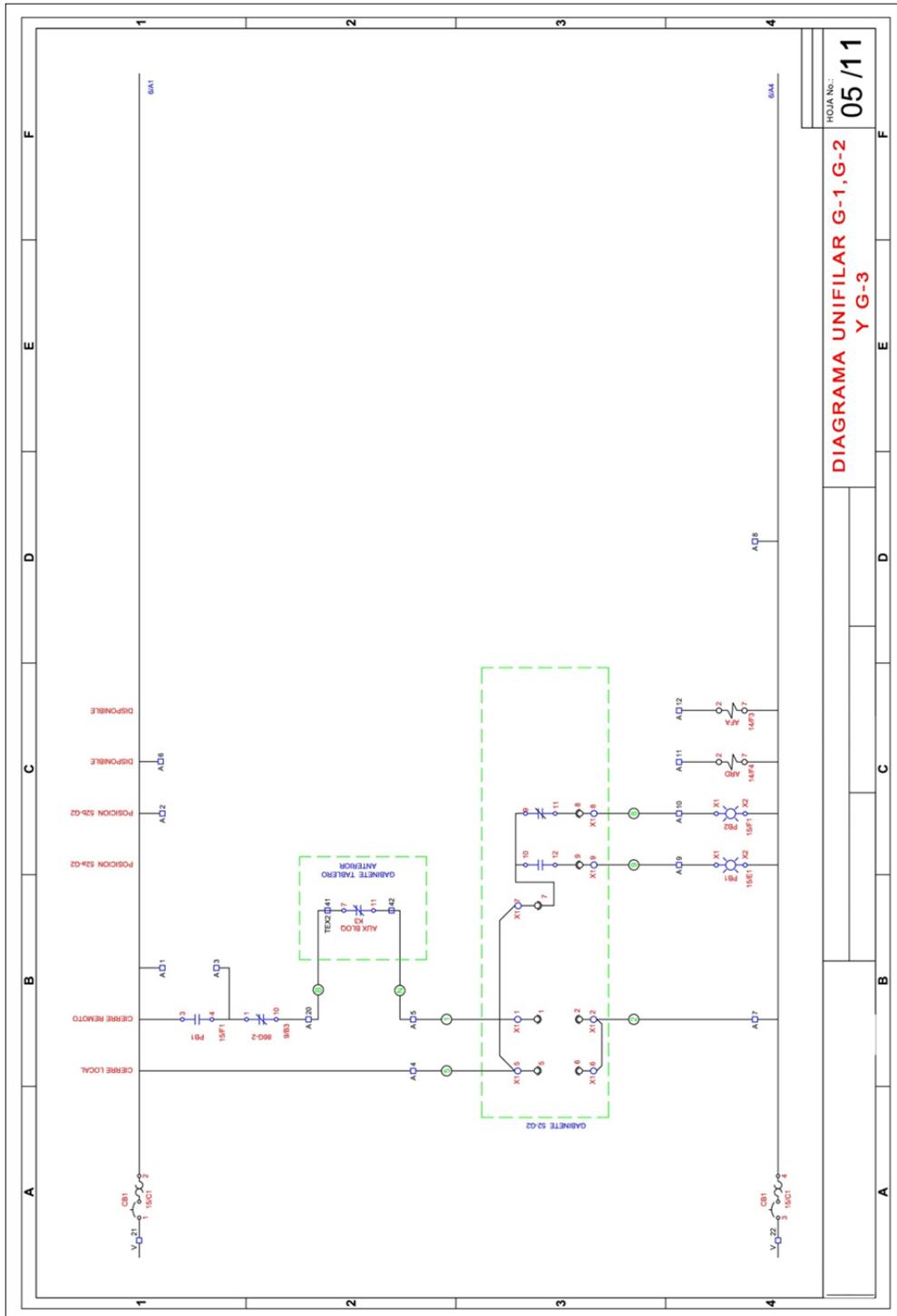


HOJA No. 03/11

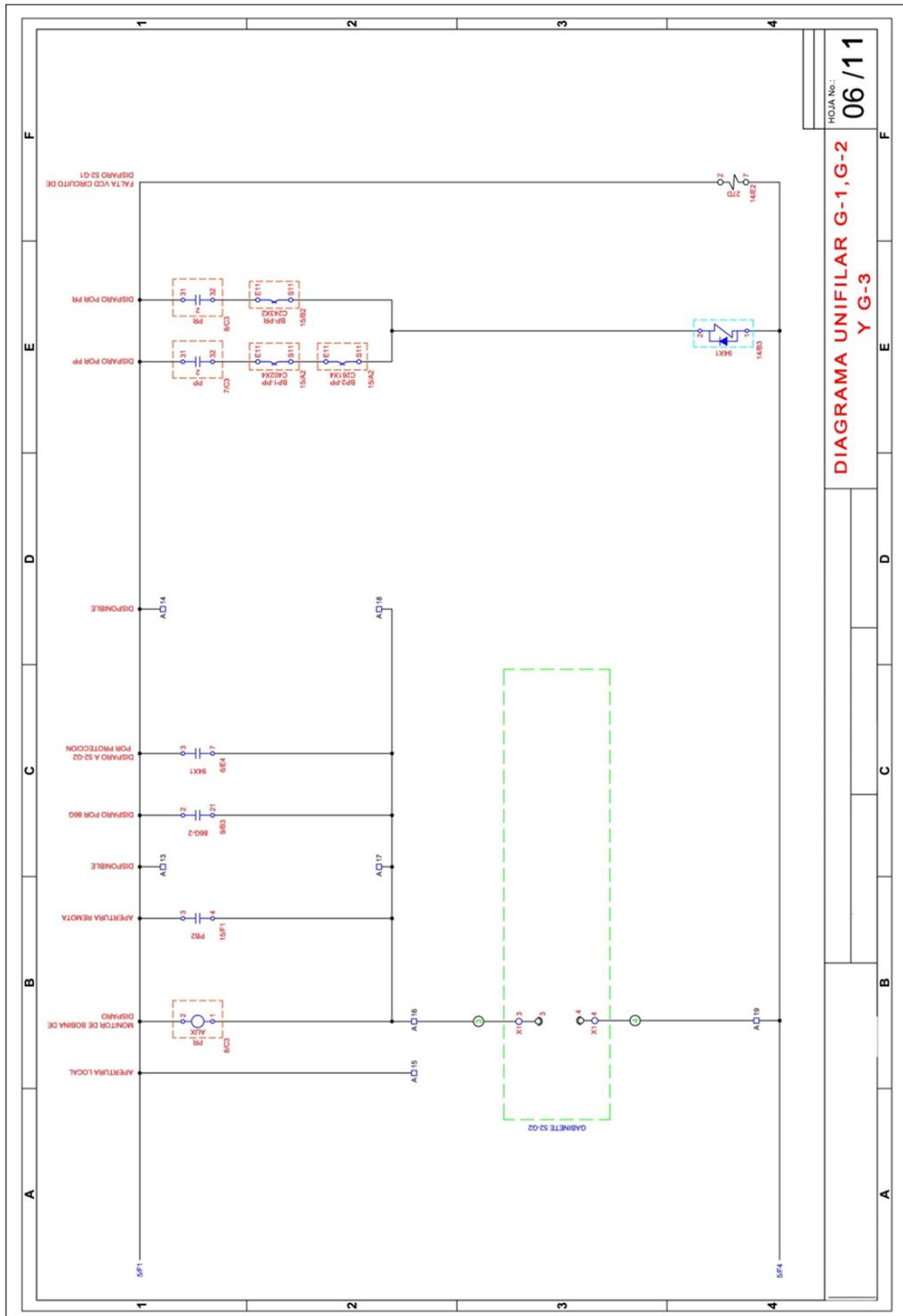
DIAGRAMA UNIFILAR G-1, G-2 Y G-3



Continuación de la figura 29.

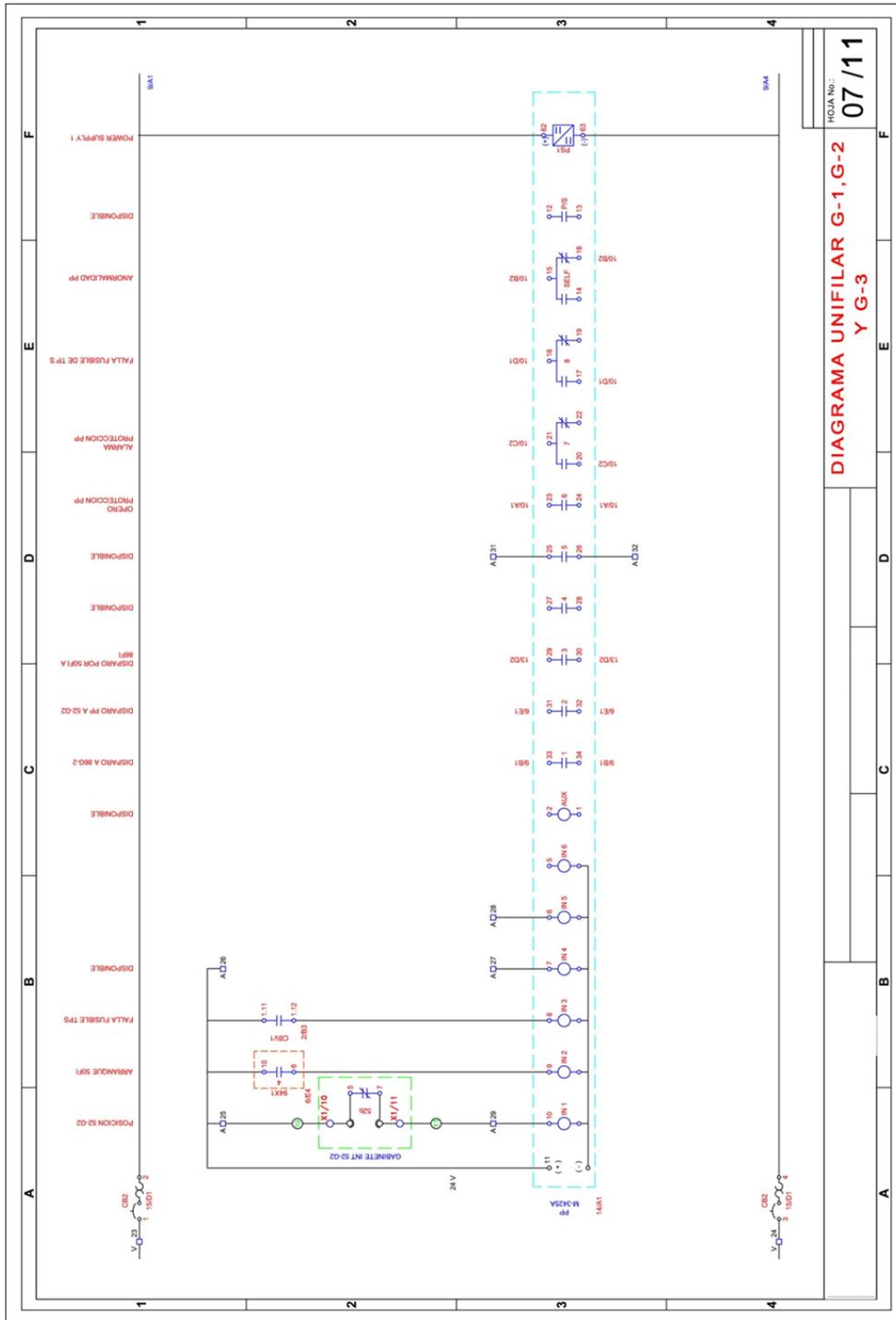


Continuación de la figura 29.

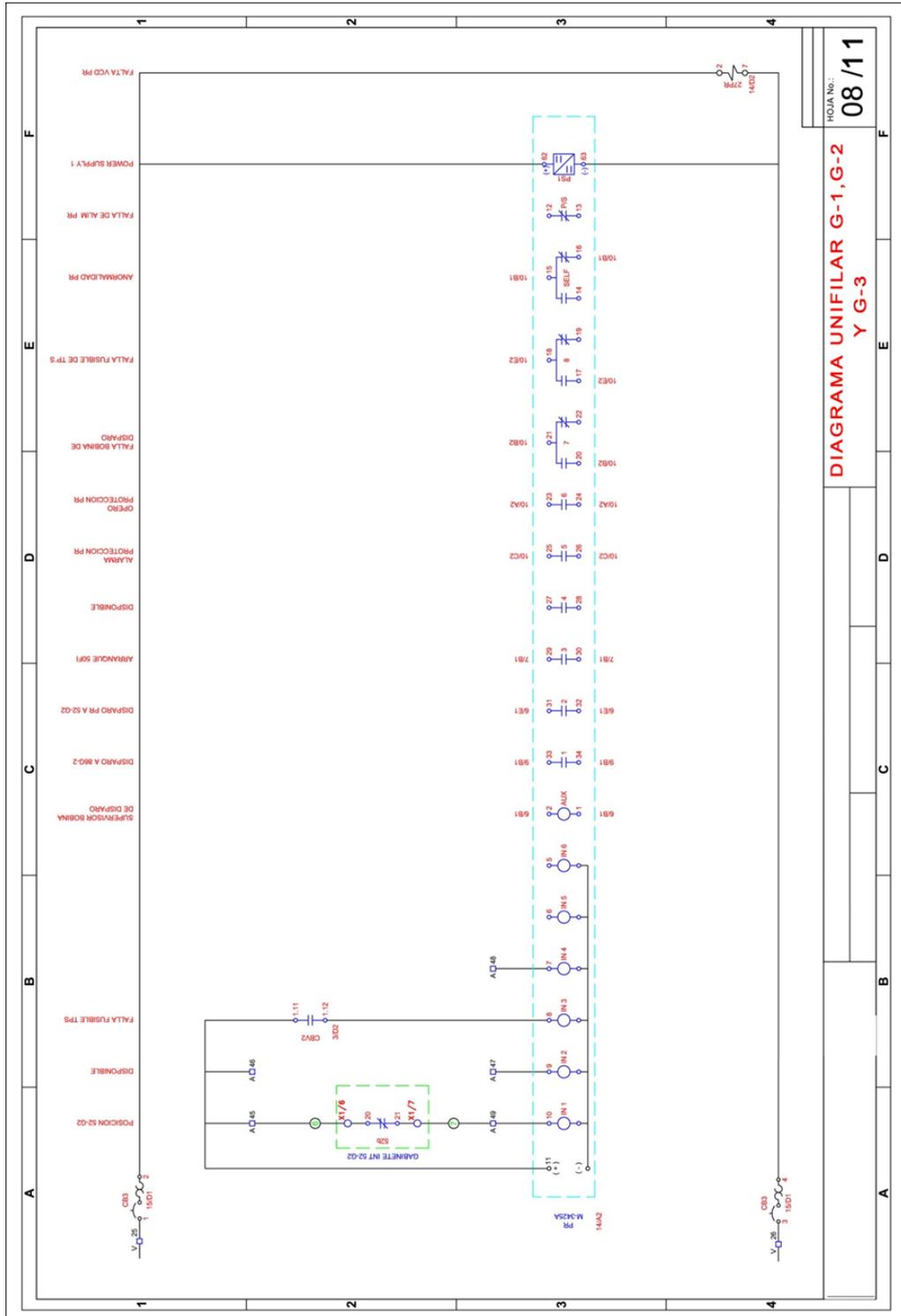


HOJA No. 7  
**06 / 11**  
**DIAGRAMA UNIFILAR G-1, G-2 Y G-3**

Continuación de la figura 29.

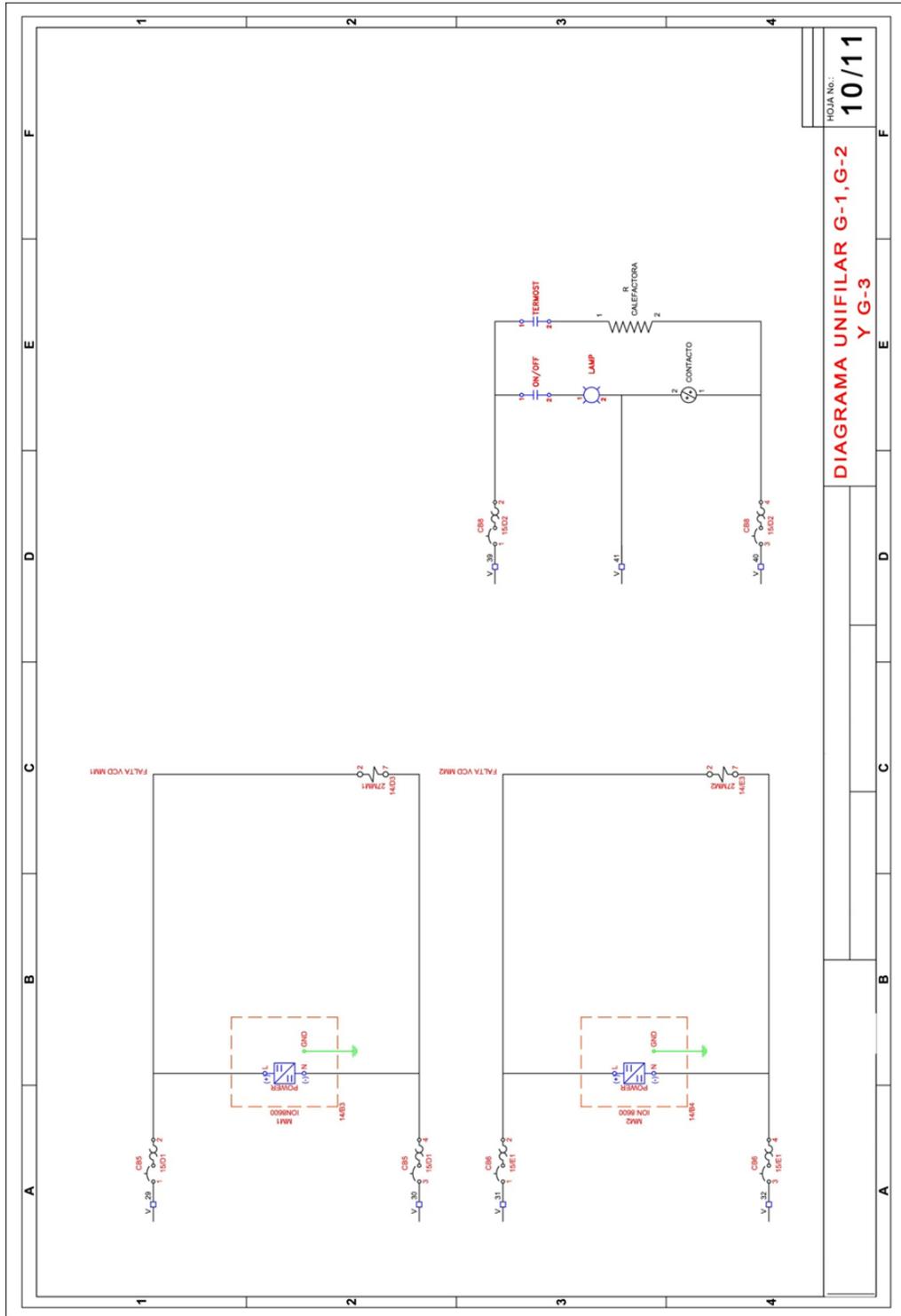


Continuación de la figura 29.





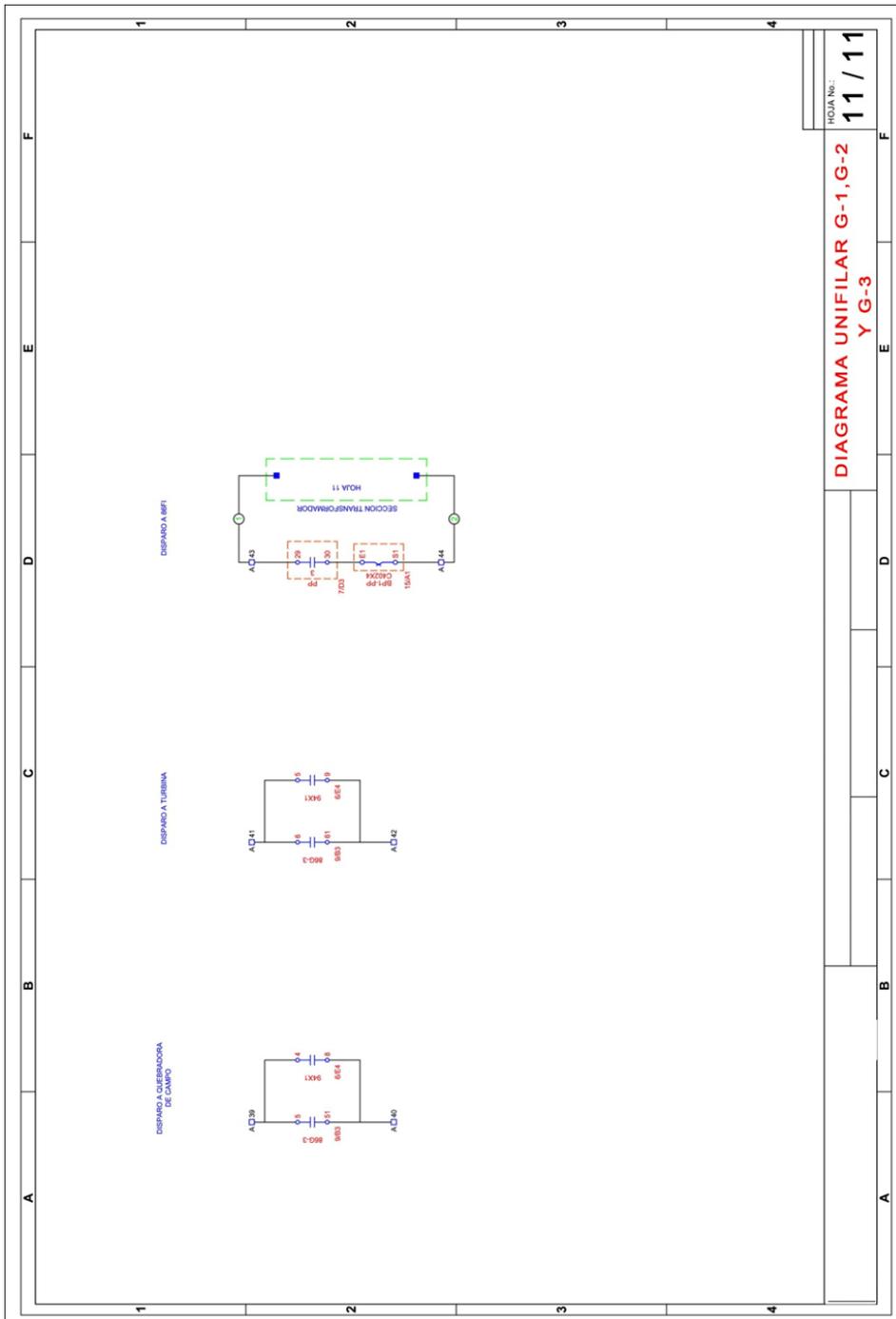
Continuación de la figura 29.



HOJA No. 7  
**10/11**

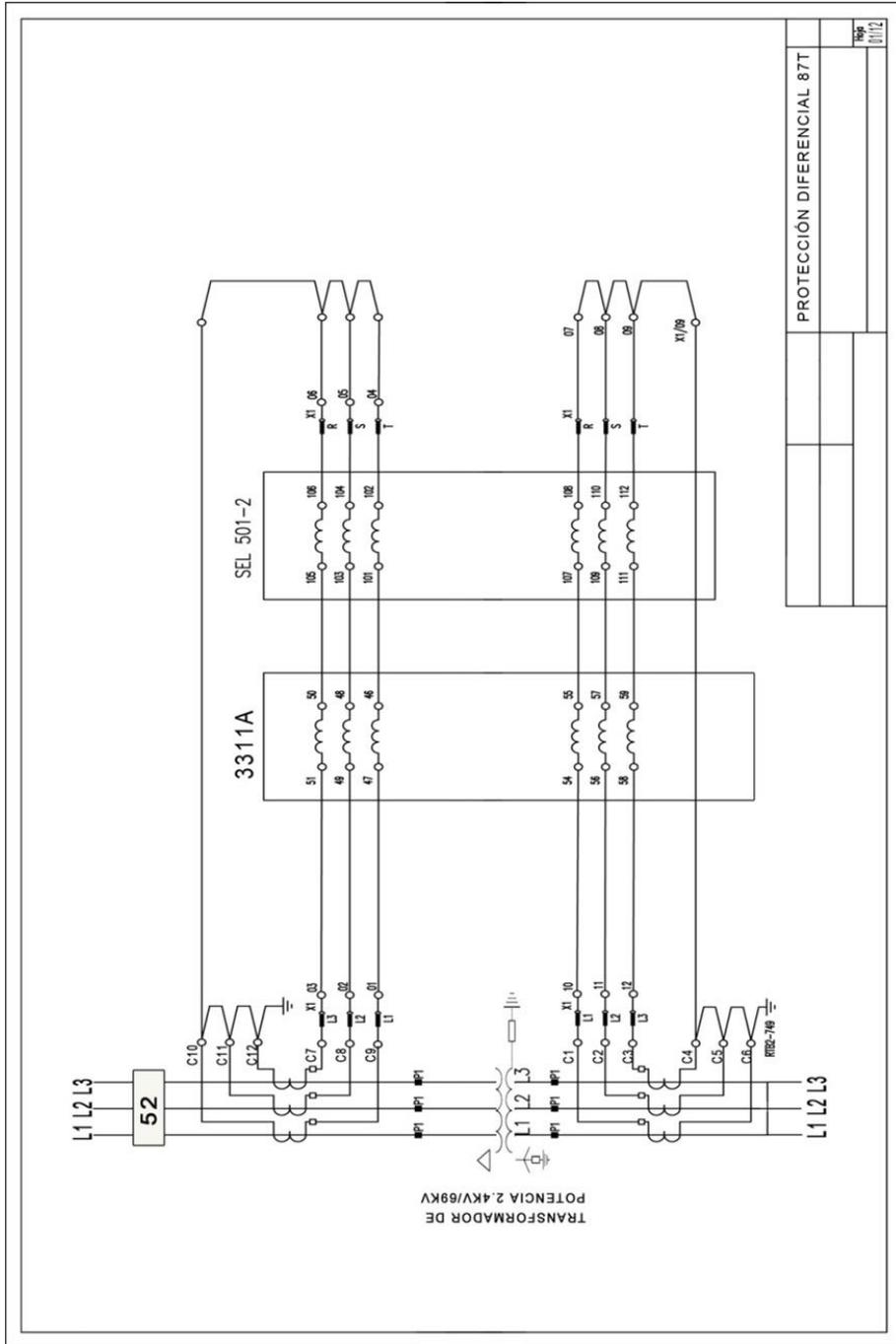
**DIAGRAMA UNIFILAR G-1, G-2 Y G-3**

Continuación de la figura 29.



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. Unifilar del transformador de potencia



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

### **5.1.3. Capacitación al personal en general, sobre la implementación del nuevo sistema de protección**

Es un conjunto de procedimientos, orientados a lograr objetivos del proceso enseñanza-aprendizaje.

Beneficios de la capacitación para el trabajador y la empresa: el beneficio de la capacitación, no es solo para el trabajador, sino también para la empresa; ya que para ambos constituye la mejor inversión para enfrentar los retos del futuro. Entre los beneficios están:

- Permitir al trabajador prepararse para la toma de decisiones y para la solución de problemas.
- Promover el desarrollo y la confianza del personal que labora
- Ofrecer herramientas necesarias, en el manejo de conflictos que se den dentro de la organización.
- Elevar el nivel de satisfacción en el puesto laboral
- Mejorar la comunicación entre los trabajadores
- Ayudar a la integración de grupos
- Transformar el ambiente de trabajo en la empresa, haciendo más agradable la estadía en ella.

Los métodos usados para capacitar son: conferencias, videos, audiovisuales y similares. Tienden a depender más de la comunicación y menos de la limitación y la participación activa. Las conferencias permiten la economía de tiempo, así como de recursos, los otros métodos pueden requerir lapsos de participación más amplia y presupuestos más elevados.

### **5.1.3.1. Objetivos del método a utilizar**

Es indispensable determinar, cuales son los objetivos de la presentación, considerando el público al que está dirigida. Ante un mismo tema o muy parecidos, como los expuestos al personal referentes al montaje y puesta en servicio, los objetivos de la presentación, varían si son realizadas para personal de la sección de protecciones u operación. Los objetivos deben de ser claros y en número no mayoritario, ya que en una mayor cantidad, difícilmente son retenidos por la audiencia.

### **5.1.3.2. Método de presentaciones audiovisuales**

Este método ofrece ventajas sobre los casos escritos, ya que el conferencista o instructor, no necesita hacer investigaciones, ni escribir informes.

Por otro lado, las presentaciones audiovisuales, son más atractivas para los participantes ya que no tienen la necesidad de leer grandes cantidades de información. Asimismo, permite capacitar al personal a desarrollar las habilidades de percepción y escucha activa de mensajes verbales y no verbales.



## CONCLUSIONES

1. El nuevo sistema de protección instalado, tanto para las unidades 1, 2 y 3 (turbina, generador) y el transformador de potencia, son de gran importancia para un funcionamiento confiable, seguro y eficaz en la Central Hidroeléctrica Santa María.
2. Con las nuevas protecciones instaladas, se tendrá rapidez de respuesta en caso de una falla en el sistema y así garantizar vida útil de los equipos.
3. La capacitación del personal técnico y de ingeniería en el campo de las protecciones, contribuye a un trabajo más seguro y eficiente para la Empresa de Generación de Energía Eléctrica (EGEE).
4. La empresa EGEE, perteneciente al Instituto Nacional de Electrificación trabaja con base en muchas normas internacionales, las cuales no se han documentado a nivel nacional como norma, con lo cual, adapta los requerimientos a las necesidades propias del país y del INDE, contribuyendo así como lo ha hecho desde hace mucho tiempo al desarrollo del país en el sector eléctrico.
5. Con este trabajo de graduación, se puede entender que el campo de la ingeniería es muy amplio, por lo cual el profesional de la carrera de Ingeniería Eléctrica, puede desarrollarse desde las instalaciones eléctricas domiciliarias hasta la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, a nivel nacional e internacional.



## RECOMENDACIONES

1. Los documentos de apoyo para la instalación de equipo de protecciones son de gran importancia, puesto que con esto, se tendrá una base técnica que ayude a desarrollar un mejor trabajo.
2. Es necesario que el personal de ingeniería de la Empresa de Generación de Energía Eléctrica, aplique los conocimientos adquiridos en el campo de trabajo en procedimientos y normativos, que ayuden a ser más eficientes, en este caso el sistema de protecciones, tanto de las unidades 1, 2 y 3 (turbina, generador) como del transformador de potencia.
3. Para la mejor aplicación de la ingeniería eléctrica, es necesario que los estudiantes tengan mejores conocimientos prácticos en la instalación de equipos de protección, ya que en el área de trabajo, es necesario aplicarlos y así tener un mejor desenvolvimiento personal.



## BIBLIOGRAFÍA

1. American National Standards Institute. *Guide for AC Generator Protection*. USA: ANSI/ IEEE C37.102-1987. 138 p.
2. Beckwith Electric Co. *Protección de Generadores Síncronos*. [en línea] <http://www.beckwithelectric.com>. [Consulta marzo de 2013].
3. BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. *Electrónica Teoría de Circuitos*. 5a ed. México: Editorial Prentice Hall. 2002, 178 p.
4. CHAPMAN, Stephen J. *Maquinas eléctricas*. 3a ed. Colombia: Nomos, 2000. 178 p.
5. HARPER ENRIQUEZ, Gilberto. *Fundamentos de Protecciones de Sistemas Eléctricos por relevadores*. México: Impresiones Editoriales, S. A. 1984. 258 p.
6. INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN DE GUATEMALA. *Normas de construcción de electrificación rural*. [en línea] <http://www.inde.gob.gt>. [Consulta: abril de 2013].

